



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

BADANIA SYSTEMOWE

Tom 76

**MODELOWANIE MATEMATYCZNE,
OPTYMALIZACJA I STEROWANIE
PRACĄ PRZEPLYWOWYCH
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

Bartosz Szelaąg

Warszawa 2019

MODELOWANIE MATEMATYCZNE, OPTYMALIZACJA I STEROWANIE PRACĄ
PRZEPLYWOWYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW, Bartosz Szelaąg



**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE
Tom 76**

**Redaktor naukowy:
Prof. dr hab. inż. Olgierd Hryniewicz**

Warszawa 2019

Rada redakcyjna serii: BADANIA SYSTEMOWE

Prof. Janusz Kacprzyk – przewodniczący

Prof. Olgierd Hryniewicz

Prof. Tadeusz Kaczorek

Prof. Jerzy Klamka

Prof. Józef Korbicz

Prof. Zbigniew Nahorski

Prof. Ngoc Thanh Nguyen

Prof. Marek Niezgódka

Prof. Ewaryst Rafajłowicz

Prof. Leszek Rutkowski

Prof. Roman Słowiński

Prof. Jan Studziński

Prof. Tomasz Szapiro

Bartosz Szelağ

**MODELOWANIE MATEMATYCZNE,
OPTYMALIZACJA I STEROWANIE
PRACĄ PRZEPIYWOWYCH
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

Warszawa 2019

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2019

Autor:

Dr inż. Bartosz Szelaĝ
Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki
Politechnika Świętokrzyska
bszelag@tu.kielce.pl

Recenzenci:

Dr hab. inż. Ewa Burszta-Adamiak, prof. nadzwyczajny
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Dr hab. inż. Izabela Rojek, prof. nadzwyczajny
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Skład: Anna Gostyńska / Aneta M. Pielak

Wydawca:

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
Newelska 6, 01-447 Warszawa
www.ibspan.waw.pl

*Publikacja sfinansowana ze środków projektu RID
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 025/RID/2018/19*

ISSN 0208-8029

ISBN 978-83-89475-62-6

SPIS TREŚCI

Słownik wprowadzonych terminów	7
1. Wprowadzenie	13
2. Biologiczne oczyszczalnie ścieków.....	23
2.1. Nowe rozwiązania usprawniające działanie oczyszczalni ścieków	28
3. Stan badań w zakresie modelowania, optymalizacji i sterowania oczyszczalni ścieków	31
3.1. Prognoza ilości i jakości ścieków na dopływie do oczyszczalni modelami statystycznymi	40
3.2. Prognoza jakości ścieków na odpływie z oczyszczalni modelami statystycznymi	45
3.3. Prognoza sedimentacji osadu czynnego za pomocą modeli statystycznych	51
3.4. Sterowanie nastawami reaktorów biologicznych przy użyciu modeli statystycznych	55
3.5. Modele niezawodności pracy oczyszczalni	61
3.6. Cel i zakres pracy.....	62
4. Oczyszczalnie ścieków wytypowane do badań	65
5. Pomiary technologiczne wykonywane w badanych oczyszczalniach ścieków	71
5.1. Systemy monitoringu na obiektach badanych	72
5.2. Wstępna analiza statystyczna danych pomiarowych z obiektów badanych	73
6. Aparat matematyczny zastosowany do obliczeń	79
6.1. Wieloraka regresja liniowa	80
6.2. Programowanie genetyczne	81
6.3. Regresyjne drzewa decyzyjne	83
6.4. Metoda lasów losowych i drzew wzmacnianych	84
6.5. Metoda k-najbliższych sąsiadów	86

6.6. Sztuczne sieci neuronowe	87
6.7. Metoda wektorów nośnych	90
6.8. Modele klasyfikacyjne (regresja logistyczna, liniowy model dyskryminacyjny)	92
6.9. Algorytm budowy modelu statystycznego do symulacji procesów biologicznych w oczyszczalni ścieków	93
7. Dobór metod data mining do symulacji oczyszczalni ścieków	101
7.1. Ogólne zasady tworzenia modeli do prognozy ilości, jakości ścieków na dopływie, odpływie i sedymentacji osadu czynnego	103
7.2. Prognoza natężenia dopływu do oczyszczalni ścieków	104
7.2.1. Modelowanie dopływu ścieków do oczyszczalni ścieków w Sitkówce–Nowiny	106
7.2.2. Wpływ długości czasu prowadzenia pomiarów na dobór metody symulacji na przykładzie dopływu do oczyszczalni ścieków ...	117
7.3. Prognoza jakości ścieków na dopływie do obiektu	121
7.3.1. Identyfikacja stanów incydentalnych na dopływie do oczyszczalni ścieków	135
7.4. Prognoza funkcjonowania oczyszczalni ścieków	142
7.4.1. Prognoza sedymentacji osadu czynnego	143
7.4.2.1. Prognoza sedymentacji osadu czynnego (modele klasyfikacyjne)	144
7.4.2.2. Prognoza sedymentacji osadu czynnego (symulacja wartości liczbowych)	155
7.4.3. Prognoza jakości ścieków na odpływie	166
8. Optymalizacja i sterowanie pracy bioreaktora	179
8.1. Optymalizacja i sterowanie pracy oczyszczalni w odniesieniu do sedy- mentacji osadu (model niezawodności)	180
8.2. Identyfikacja strategii sterowania bioreaktorem	182
8.3. Sterowanie i optymalizacja działania bioreaktora	184
8.4. Wpływ sterowania i optymalizacji na niezawodność osadnika wtórnego w aspekcie sedymentacji osadu – model probabilistyczny	191
8.5. Aspekty sterowania bioreaktorem – jakość ścieków na wylocie a sedymentacja osadu	205
9. Podsumowanie i wnioski końcowe	213
Literatura	219

ISSN 0208-8029
ISBN 978-83-89475-62-6

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
tel.: (+48) 22 3810246 / 22 3810277 / 22 3810241 / 22 3810273
e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl