



**POLSKA AKADEMIA NAUK**  
**Instytut Badań Systemowych**

---

**BADANIA SYSTEMOWE**  
**Inżynieria Środowiska**

**KOMPUTEROWA SYMULACJA  
I OPTYMALIZACJA MODELU  
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

**Marcin Stachura**

**Warszawa 2008**



**KOMPUTEROWA SYMULACJA  
I OPTYMALIZACJA MODELU  
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

**POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE, tom 59**

**Redaktor naukowy: prof. Jakub Gutenbaum**

---

**Podseria: Inżynieria Środowiska**

Warszawa 2008

**KOMPUTEROWA SYMULACJA  
I OPTYMALIZACJA MODELU  
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

**Marcin Stachura**



Publikacja wydana ze środków projektu badawczego MINISTERSTWA NAUKI i SZKOLNICTWA WYŻSZEGO: nr R11 001 01.

W pracy omówiono sposób konstruowania modelu matematycznego dla oczyszczalni ścieków z osadem czynnym z wykorzystaniem bilansowych równań różniczkowych zwyczajnych, wynikających z zasad zachowania masy i podstawowych zależności kinetycznych i stechiometrycznych zachodzących przemian i procesów fizycznych w obiektach technicznych oczyszczalni. Równania różniczkowe opisują dynamikę procesu a występujące w równaniach współczynniki mają interpretację fizyczną. Koncepcja przedstawionego sposobu konstrukcji modelu matematycznego polega na opracowaniu modelu mogącego być pożytecznym narzędziem wspomagającym pracę operatora procesu technologicznego. Wobec tego opracowywany model opisuje konkretną i ograniczoną grupę obiektów a proces modelowania uwzględnia również kalibrację modelu na podstawie rzeczywistych pomiarów. Dzięki takiemu podejściu utworzony model matematyczny staje się przybliżeniem konkretnego obiektu i może być użyty do jego badania, co jest niewątpliwie celem nadrzędnym modelowania matematycznego. Praca ma również na celu prezentację techniki */fast--prototyping/*, czyli szybkiego prototypowania przy pomocy komputera wielowymiarowych procesów przemysłowych na przykładzie procesów zachodzących w mechaniczno--biologicznych oczyszczalniach ścieków. Pod pojęciem modelowania w pracy rozumie się zespół czynności obejmujących takie zagadnienia, jak: opracowanie modelu procesu w postaci układu równań różniczkowych (model fizyczny), implementację modelu w odpowiednim algorytmie komputerowym, kalibrację wraz z optymalizacją nieznanymi współczynników występujących w równaniach opisujących proces oraz analizę otrzymanych wyników.

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Janiszowski  
Dr hab. inż. Janusz Łomotowski

*Semi*  
Bibl. podręczna

45905

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2008

Instytut Badań Systemowych PAN  
Newelska 6, PL 01-447 Warsaw

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw IBS PAN  
e-mail: [biblioteka@ibspan.waw.pl](mailto:biblioteka@ibspan.waw.pl)

**ISBN 978-83-89475-15-2**

**ISSN 0208-8029**

Druk i oprawa: ARTPRESS, tel. 052 354 95 10

# SPIS TREŚCI

Wykaz Oznaczeń .....	7
1. Wstęp .....	9
2. Model matematyczny oczyszczalni zastosowany w obliczeniach .....	13
2.1. Proces mechaniczno – biologicznego oczyszczania ścieków .....	13
2.2. Frakcje zanieczyszczeń .....	14
2.3. Model osadnika wstępnego .....	16
2.4. Model przemian związków organicznych i azotu w komorach napowietrzania .....	18
2.5. Model osadnika wtórnego .....	25
2.6. Model mieszania osadów .....	28
3. Implementacja modelu matematycznego w systemie <i>AMandD</i> ( <i>Advanced Monitoring and Diagnostic</i> ) .....	30
3.1. System <i>AMandD</i> .....	30
3.2. Funkcje systemu .....	31
3.3. Modelowanie .....	32
3.3.1. Moduł <i>PExSim</i> .....	33
3.3.2. Wizualizacja wyników .....	35
3.3.3. Wspomaganie decyzji operatorów .....	36
3.4. Implementacja modelu procesu w systemie <i>AMandD</i> .....	36
3.5. Model oczyszczalni ścieków wykonany w pakiecie <i>PExSim</i> .....	45
4. Wizualizacja procesu mechaniczno – biologicznego oczyszczania ścieków .....	47
5. Analiza pomiarów wykonanych w oczyszczalni .....	49
5.1. Opis eksperymentu biernego przeprowadzonego w oczyszczalni ścieków w Rzeszowie .....	49
5.2. Analiza modelu procesów zachodzących w elementach technologicznych oczyszczalni ścieków .....	50
5.3. Analiza otrzymanych wyników pomiarów zdjętych z oczyszczalni .....	52
6. Kalibracja modelu procesu .....	57
6.1. Kalibrowane współczynniki .....	57
6.2. Kalibracja współczynników występujących w równaniach opisujących model osadnika wstępnego oraz osadnika wtórnego .....	58
6.3. Kalibracja współczynników występujących w równaniach opisujących model komory z osadem czynnym .....	59

<b>7. Optymalizacja modelu .....</b>	<b>65</b>
7.1. Zadanie optymalizacji .....	65
7.2. Opis wybranych algorytmów optymalizacji .....	66
7.2.1. Podział i wybór metod optymalizacji do zastosowania w omawianym zadaniu .....	66
7.2.2. Algorytm Hooka i Jeevesa – HJ .....	67
7.2.3. Algorytm Rosenbrocka – R .....	70
7.2.4. Bezgradientowa metoda Powella (1) kierunków sprzężonych – P1 .....	73
7.2.5. Metoda Sympleksu Neldera i Meada – N .....	75
7.2.6. Metoda gradientów sprzężonych (Polaka – Riebery) – PR .....	81
7.2.7. Metoda zmiennej metryki (Davidona – Fletchera – Powella) – DFP .....	82
7.2.8. Symulowane wyzarczenie metodą Metropolis – M .....	84
7.2.9. Porównanie metod w oparciu o przykłady literaturowe .....	88
7.3. Metodyka optymalizacji modelu procesu .....	89
7.3.1. Optymalizacja modelu procesu .....	89
7.3.2. Optymalizacja struktury modelu .....	90
7.4. Przyjęte funkcje celu w zadaniach optymalizacji modelu .....	92
7.4.1. Funkcja celu dla zadania optymalizacji modelu osadnika wstępnego .....	92
7.4.2. Funkcja celu dla zadania optymalizacji modelu komory z osadem czynnym .....	93
<b>8. Wyniki modelowania procesu oczyszczania ścieków przy użyciu   modułu PExSim systemu AMandD .....</b>	<b>94</b>
8.1. Przygotowanie danych .....	94
8.2. Przyjęte wskaźniki błędów pomiędzy wartościami modelowanymi i rzeczywistymi .....	96
8.3. Sygnały modelowane a pomiary z oczyszczalni .....	98
8.4. Wyniki modelowania oczyszczalni po kalibracji i optymalizacji modelu .....	99
8.4.1. Wyniki kalibracji i optymalizacji dla początkowej struktury modelu osadnika wstępnego .....	99
8.4.2. Wyniki optymalizacji dla zredukowanej struktury modelu osadnika wstępnego .....	100
8.4.3. Weryfikacja modelu osadnika wstępnego .....	102
8.4.4. Wyniki optymalizacji komory z osadem czynnym oraz osadnika wtórnego .....	109
8.4.5. Weryfikacja modelu komory z osadem czynnym oraz osadnika wtórnego .....	112
<b>9. Wnioski.....</b>	<b>122</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>125</b>



IBS PAN *Sená*

45905

Bibl. podręczna

**ISBN 978-83-89475-15-2**

**ISSN 0208-8029**

---

---