



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

ISBN 978-83-89475-15-2

ISSN 0208-8029

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

5. Analiza pomiarów wykonanych w oczyszczalni

5.1. Opis eksperymentu biernego przeprowadzonego w oczyszczalni ścieków w Rzeszowie

Przed przystąpieniem do prac mających na celu użyteczne zastosowanie modelu fizycznego procesu, ważnym zagadnieniem jest przeanalizowanie pracy obiektu. Pierwszym krokiem jest analiza zmiennych procesowych. W omawianym przypadku pomiary stężeń nie są wykonywane *on-line* a laboratoryjnie. Niezbędnym więc było przeprowadzenie odpowiedniej szarży pomiarowej w celu zebrania danych wystarczających do dopasowania współczynników modelu do pracy w warunkach rzeczywistych.

Celem eksperymentów pomiarowych (szarży pomiarowej) było wyznaczenie parametrów modeli matematycznych dynamiki zachodzących procesów technologicznych. Ten cel warunkował dobór punktów pomiarowych oraz wybór mierzonych parametrów procesu:

- natężenia przepływu ścieków
- stężeń wybranych zanieczyszczeń.

W oczyszczalni ścieków w Rzeszowie, wykonano eksperyment bierny w dniach 22.10–05.11.1995. Prace prowadzone były przez pracowników *Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk* (Studziński, 2004). Przyjęto następujące założenia eksperymentu biernego:

1. natężenie przepływu ścieków surowych mierzone było przed osadnikami wstępnymi,
2. pomiary stężeń wybranych zanieczyszczeń mierzono w pięciu punktach procesu:
 - a) przed osadnikami wstępnymi dla badania ścieków surowych,
 - b) po osadnikach wstępnych dla badania ścieków oczyszczonych mechanicznie,
 - c) po komorach napowietrzania,

- d) po osadnikach wtórnych dla badania ścieków oczyszczonych biologicznie,
 - e) w zbiorniku z osadem zawracanym,
3. w każdym z punktów pomiarowych mierzono stężenia dziewięciu następujących frakcji:
- a) tlen rozpuszczony s_{O_2} ,
 - b) biologiczne zapotrzebowanie tlenu BZT₅,
 - c) chemiczne zapotrzebowanie tlenu CHZT,
 - d) zawiesina ogólna x_{og} ,
 - e) zawiesina mineralna x_{min} ,
 - f) azot ogólny N_{og} ,
 - g) azot amonowy s_{NH_4} ,
 - h) fosfor ogólny P_{og} ,
 - i) fosfor ortofosforanowy s_{PO_4} ,
4. pomiary wymienionych parametrów w ściekach surowych były wykonywane co dwie godziny w całym okresie eksperymentu, pomiary w pozostałych punktach procesu były pomiarami uśrednionymi w okresie dobowym, otrzymywanymi na podstawie tak zwanych próbek zlewanych,
5. eksperyment trwał dwa tygodnie.

5.2. Analiza modelu procesów zachodzących w elementach technologicznych oczyszczalni ścieków

Dysponując danymi pomiarowymi, istotnym zagadnieniem jest ich interpretacja, w celu np. wychwycenia błędów pomiarowych. Jednakże nadrzędnym celem interpretacji danych pomiarowych powinna być rzetelna analiza procesu oraz (jeśli to możliwe) opracowanie pewnych uproszczonych modeli, dzięki którym łatwiej będzie rozpoznać dynamikę procesu. Taka wiedza jest nieodzowna do zdobycia niezbędnej wiedzy eksperckiej, na podstawie której można dokonać dopasowania modelu do rzeczywistego procesu. Również zastosowanie *metod optymalizacji modelu* wymaga pewnej znajomości charakteru procesu. Poniżej przedstawiono próbę zastosowania pewnych uproszczeń, tak aby rozpoznać pewne ogólne zależności, jakie występują w procesie.

Analizując równania (2.1–2.63) można w uproszczeniu zapisać i ocenić, że dla procesów zachodzących w osadniku wstępnym oraz wtórnym prawdziwe są zależności:

$$T\dot{y}_x + y_x = u_x - F(y_x) \quad (5.1)$$

$$T\dot{y}_s + y_s = u_s \quad (5.2)$$

gdzie:

T – stała czasowa w s,

y_x – stężenie zawiesin w g/m^3 ,

y_s – stężenie związków rozpuszczonych w g/m^3 ,

u_x – stężenie wejściowe (wymuszenie) zawiesin w g/m^3 ,

u_s – stężenie wejściowe (wymuszenie) związków rozpuszczonych w g/m^3 ,

F – funkcja liniowa zależna od stężenia zawiesiny.

Natomiast dla komory z osadem czynnym można przypuszczać, że dla związków biorących udział w reakcjach biochemicznych prawdziwa jest zależność:

$$T_1\dot{y}_{x,s} + y_{x,s} = u_{x,s} - H(x, s, s_0, x_h, x_a) \quad (5.3)$$

gdzie:

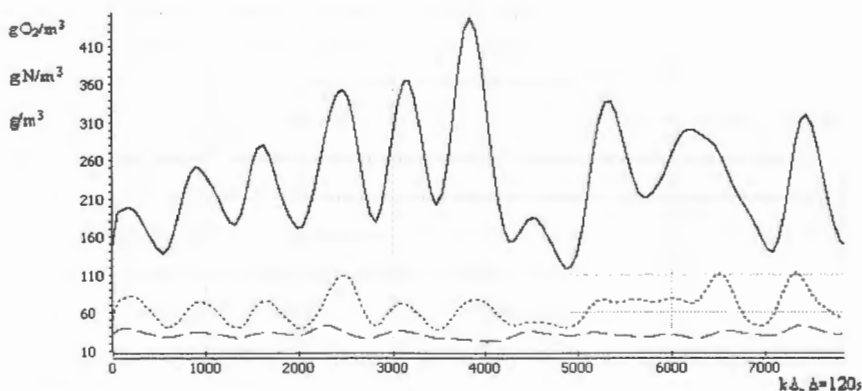
T – stała czasowa w s,

$y_{x,s}$ – stężenie zawiesin lub związków rozpuszczonych w g/m^3 ,

$u_{x,s}$ – stężenie wejściowe (wymuszenie) zawiesin lub związków rozpuszczonych w g/m^3 ,

H – funkcja liniowa zależna od stężenia zawiesiny x związku rozpuszczonego mającego wpływ na zmianę stężenia związku $y_{x,s}$, od stężenia tlenu s_0 , od stężenia osadu czynnego x_h, x_a .

Dla pomiarów przeprowadzonych dla omawianej oczyszczalni ścieków można powiedzieć, że stężenia związków mierzonych zmieniały się podobnie (w sensie charakteru zmian), co ilustruje rysunek 5.1.



Rysunek 5.1. Stężenia: biologicznego zapotrzebowania tlenu (*linia ciągła*), azotu amonowego (*linia kreskowana*), zawiesiny mineralnej (*linia kropkowana*)

Można więc przypuszczać, że równanie (5.3) przyjmie postać:

$$T_1 \dot{y}_{x,s} + y_{x,s} = u_{x,s} - H(s_0, x_h, x_a) \quad (5.4)$$

czyli zmiana stężenia związku $y_{x,s}$ będzie zależna tylko od stężenia tlenu oraz stężenia osadu czynnego. Ponieważ funkcja H zależy od stężenia tlenu w sposób następujący:

$$H(s_0) = \frac{s_0}{K_0 + s_0} \quad (5.5)$$

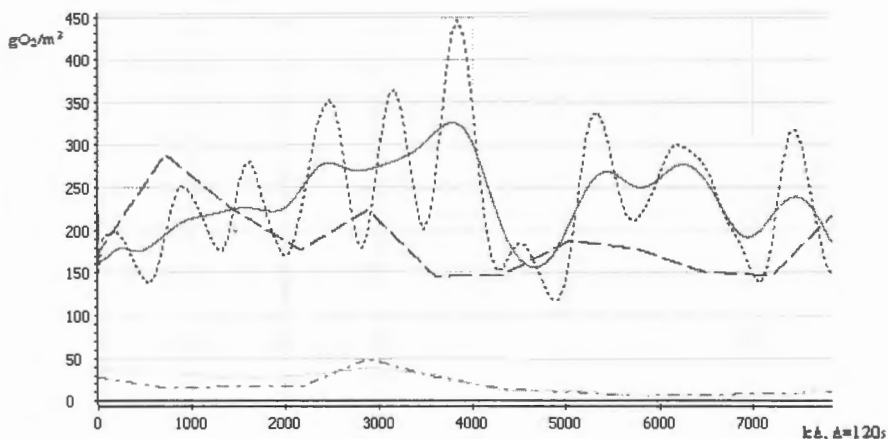
gdzie K_0 – współczynnik saturacji rozwoju biomasy w funkcji stężenia tlenu s_0 .

Ponieważ $K_0 = (0,1 - 0,5)$, można przyjąć, że dla stężeń tlenu $s_0 > 1 - 5$ czynnik ten jest pomijalny.

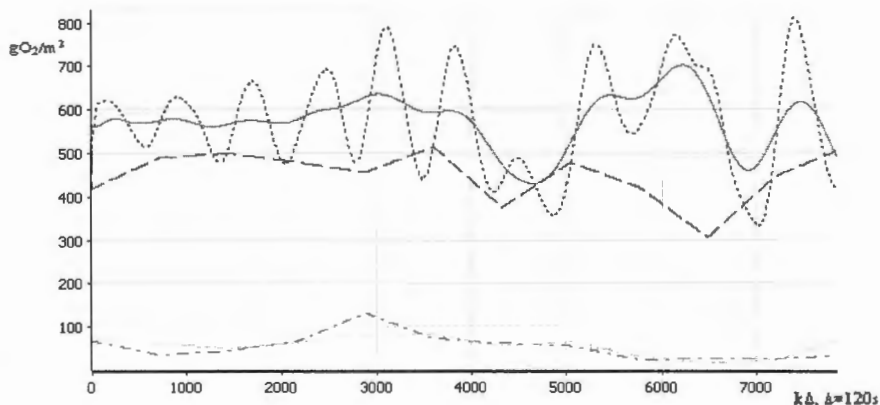
Można więc przypuszczać, że wobec przedstawionych powyżej zależności, przy stałych parametrach napowietrzania (czyli stężeniu s_0) oraz stężeniach osadu zawracanego (x_h, x_a), stężenie substancji biorących udział w reakcjach biochemicznych powinno oscylować wokół ustalonego punktu pracy. Przy odpowiednim napowietrzaniu ($s_0 > 1$) można przyjąć, że głównym parametrem sterującym będzie stężenie osadu czynnego zależne od natężenia przepływu osadu zawracanego.

5.3. Analiza otrzymanych wyników pomiarów zdjętych z oczyszczalni

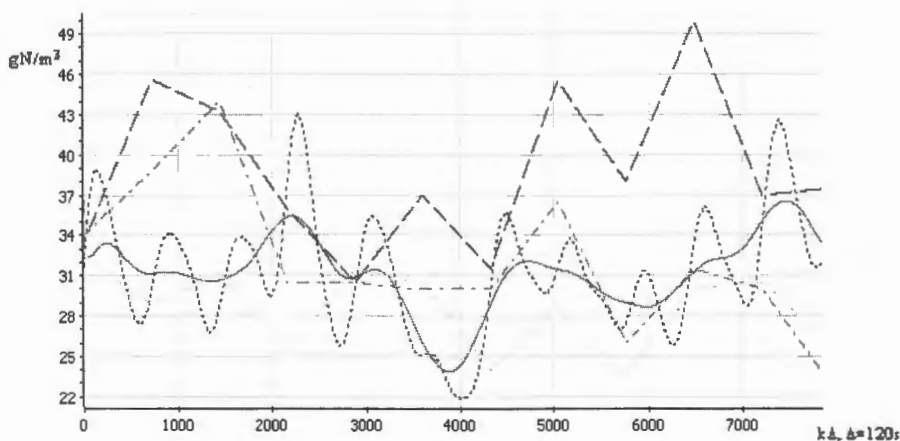
Kolejno przedstawione rysunki (5.2–5.7) prezentują wybrane pomiary zdjęte w rzeczywistej oczyszczalni (dane wejściowe zostały wygładzone):



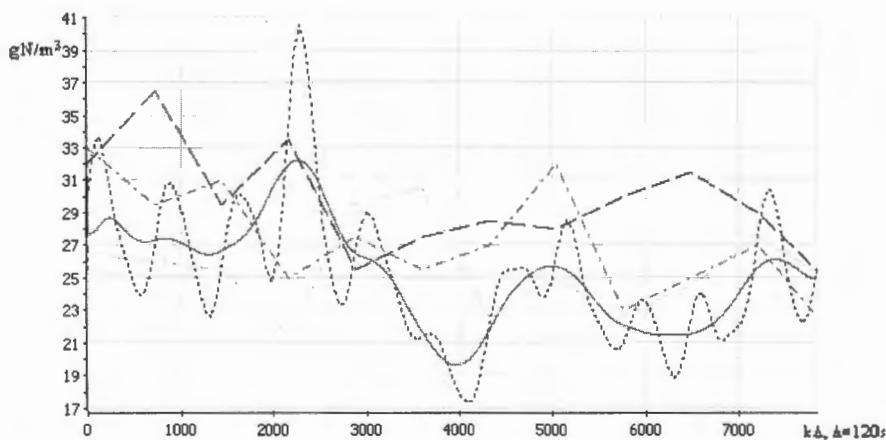
Rysunek 5.2. Przebieg zmienności biologicznego zapotrzebowania tlenu w funkcji numeru próbki ($T_p = 120$ s), wartość stężenia w ściekach surowych (linia kropkowana), średnia dobowa w ściekach surowych (linia ciągła), średnia dobowa po osadniku wstępnym (linia przerywana), średnia dobowa w komorze z osadem czynnym (linia kreska-kropka), średnia dobowa w ściekach oczyszczonych (linia kreska-kropka-kropka)



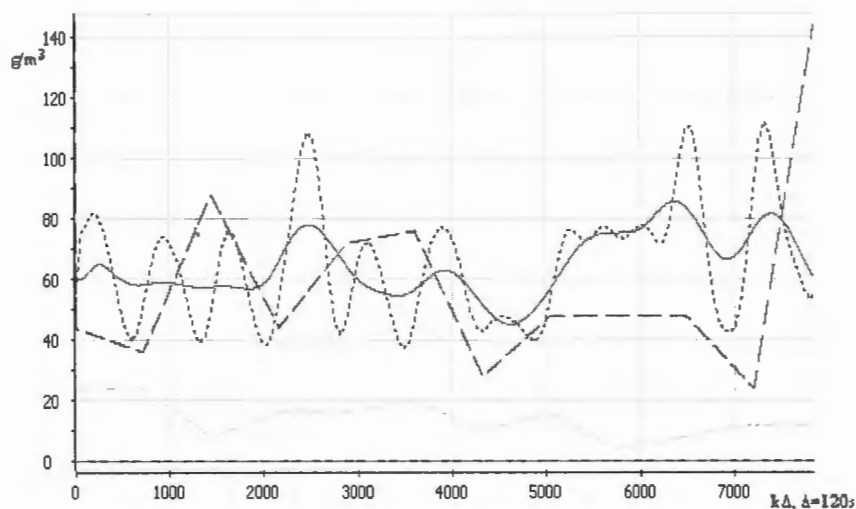
Rysunek 5.3. Przebieg zmienności chemicznego zapotrzebowania tlenu w funkcji numeru próbki ($T_p = 120$ s), wartość stężenia w ściekach surowych (linia kropkowana), średnia dobowa w ściekach surowych (linia ciągła), średnia dobową po osadniku wstępnym (linia przerywana), średnia dobową w komorze z osadem czynnym (kreska-kropka), średnia dobową w ściekach oczyszczonych (kreska-kropka-kropka)



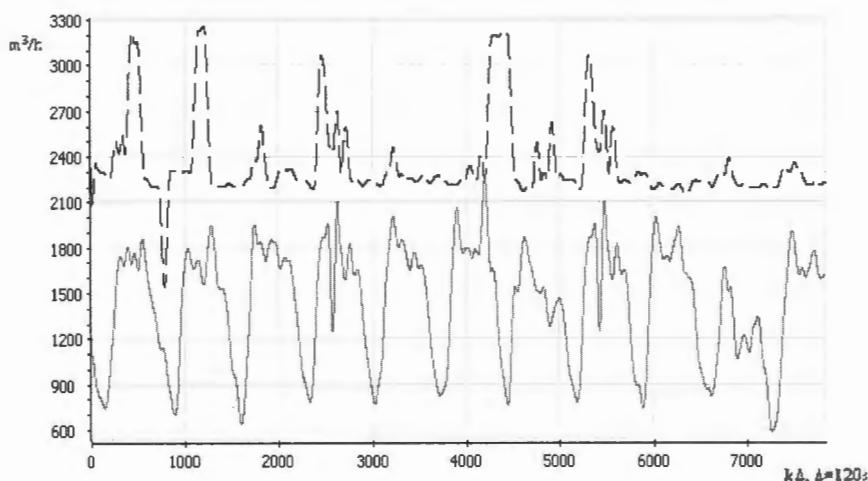
Rysunek 5.4. Przebieg zmienności stężenia azotu ogólnego w funkcji numeru próbki ($T_p = 120s$), wartość stężenia w ściekach surowych (linia kropkowana) w ściekach surowych (linia ciągła), średnia dobowa po osadniku wstępnym (linia przerywana), średnia dobowa w komorze z osadem czynnym (kreska-kropka), średnia dobowa w ściekach oczyszczonych (kreska-kropka-kropka)



Rysunek 5.5. Przebieg zmienności azotu amonowego (amoniaku) w funkcji numeru próbki ($T_p = 120 s$), wartość stężenia w ściekach surowych (linia kropkowana), średnia dobowa w ściekach surowych (linia ciągła), średnia dobowa po osadniku wstępnym (linia przerywana), średnia dobowa w komorze z osadem czynnym (kreska-kropka), średnia dobowa w ściekach oczyszczonych (kreska-kropka-kropka)



Rysunek 5.6. Przebieg zmienności zawiesiny mineralnej w funkcji numeru próbki ($T_p=120$ s), wartość stężenia w ściekach surowych (linia kropkowana), średnia dobowa w ściekach surowych (linia ciągła), średnia dobowa po osadniku wstępnym (linia przerywana) średnia dobowa w komorze z osadem czynnym, (kreska-kropka), średnia dobowa w ściekach oczyszczonych (kreska-kropka-kropka)



Rysunek 5.7. Przebieg zmienności natężenia przepływu w funkcji numeru próbki ($T_p = 120$ s), wartość natężenia przepływu ścieków surowych (linia ciągła), wartość natężenia przepływu osadu zawracanego (linia przerywana)

Na podstawie przedstawionych powyżej rysunków można stwierdzić, że:

- redukcji ulega (rys. 5.2-5.4) wartość biologicznego zapotrzebowania tlenu oraz chemicznego zapotrzebowania tlenu,
- zawiesiny sedymentują do ok. 30% wartości pierwotnej,
- stężenia związków azotowych nie ulegają większym zmianom.

Porównując otrzymane wyniki pomiarów należałoby zwrócić uwagę na rysunek 5.2, gdzie w początkowej fazie szarży pomiarowej wartości wejściowe BZT_5 nie zmieniają się proporcjonalnie do zmian wartości wyjściowych BZT_5 . Model generuje (po przeliczeniu) wartości proporcjonalne do zmian BZT_5 wejściowego. Można więc przypuszczać, że przyczyną tego jest jeden lub więcej z niżej przedstawionych czynników:

- model nie uwzględnia pewnych czynników oddziałujących na proces,
- wystąpiły błędy pomiarowe,
- napowietrzanie nie było równomierne w ciągu całej szarży pomiarowej.

IBS PAN *Sená*

45905

Bibl. podręczna

ISBN 978-83-89475-15-2
ISSN 0208-8029
