



Instytut Badań Systemowych
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**



**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH • POLSKA AKADEMIA NAUK

Seria: BADANIA SYSTEMOWE

tom 35

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2004

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA
I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

Publikację opiniowali do druku:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kuczewski

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2004

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

ISBN 83-85847-88-X

ISSN 0208-8029

Druk i oprawa: ARGRAF Sp. z o.o.
03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 76
tel. (22) 811 51 11, (22) 614 53 31

1. WPROWADZENIE

Oczyszczanie ścieków jest jednym z podstawowych zagadnień ochrony środowiska. Zagadnienie to nabiera coraz większej wagi przy dynamicznym rozwoju skupisk miejskich oraz intensyfikacji produkcji przemysłowej i rolniczej, w wyniku czego produkuje się coraz więcej ścieków o coraz większym stężeniu zanieczyszczeń. Właściwe rozwiązanie tego zagadnienia zmniejsza zanieczyszczenie wód rzecznych i gruntowych i w rezultacie zapewnia lepszą jakość wody pitnej.

O znacznym zainteresowaniu problematyką oczyszczania ścieków świadczy znaczna liczba czasopism zajmujących się tą tematyką, wśród których do bardziej znanych należą: *Biochemical Journal*, *Journal of Environmental Engineering*, *Journal of the Institute of Sewage Purification*, *Journal of Water Pollution Control Federation*; *The Journal of the Institute of Water Pollution Control*; *Water Research*; *Water Science and Technology*; *Gas, Wasser, Abwasser*; *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*.

Stale rośnie także liczba publikacji i konferencji specjalistycznych poświęconych tym zagadnieniom. W Polsce do takich regularnie organizowanych konferencji należą na przykład: *Krajowa Konferencja Gospodarki Wodnej* – organizowana w Ustroniu przez Narodową Fundację Gospodarki Wodnej; *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pod nazwą Zaspotrzebie w Wodę, Jakość i Ochrona Wód* – organizowana przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych – Oddział Wielkopolski; *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pod nazwą Technologia i Automatyzacja Systemów Wodnych i Kanalizacyjnych – TASWiK* – organizowana przez Politechnikę Gdańską.

Oczyszczanie ścieków odbywa się w oczyszczalniach, które ze wzrostem ilości ścieków i stężenia zawartych w nich zanieczyszczeń mają coraz większe rozmiary, wydajności i coraz bardziej złożone procesy technologiczne. Współczesna oczyszczalnia ścieków realizuje oczyszczanie mechaniczno-biologiczne, przy czym zwykle w oddzielnych zbiornikach oczyszczalni połączonych szeregowo zachodzą różne procesy technologiczne oczyszczania.

Oczyszczanie mechaniczne polega na osadzaniu się na dnie zbiorników oczyszczalni stałych cząstek mineralnych i organicznych, które znajdują się w ściekach tworząc w nich zawiesinę. Powstały osad traktuje się jako odpad i po odpowiednim przetworzeniu usuwa go się z oczyszczalni. Sam proces osadzania nazywa się *sedymencją*.

Oczyszczanie biologiczne oznacza kilka procesów biochemicznych, które zachodzą pod wpływem różnych kultur mikroorganizmów i bakterii występujących

w ściekach i wytwarzających tak zwany *osad czynny*. Procesy te, przy pełnym oczyszczaniu biologicznym, prowadzą do dekompozycji i redukcji w ściekach związków organicznych, azotowych i fosforowych i do powstawania zawiesiny, która ulega następnie sedymentacji. *Związki organiczne* są związkami węgla organicznego, *związki azotowe* występują w postaci amoniaku, azotynów i azotanów, a *związki fosforowe* w postaci fosforanów.

Osad wytrącony w wyniku oczyszczania biologicznego jest usuwany ze zbiorników oczyszczalni, ponieważ jednak oprócz zanieczyszczeń zawiera on również bakterie niezbędne w procesie oczyszczania, więc częściowo wprowadza się go ponownie do układu technologicznego jako *osad zawracany* zwany też *osadem recykulowanym*. Jedynie nadmiar osadu czynnego jest usuwany z oczyszczalni jako *osad nadmierny*.

Pierwsze udokumentowane próby oczyszczania biologicznego ścieków na skalę techniczną odbyły się w 1916 r. w Anglii [Szetela, 1990]. Od tamtego czasu ten proces jest stale rozwijany i udoskonalany. Większość prowadzonych badań i prób ma jednak charakter eksperymentalny i w znacznej części laboratoryjny a tak otrzymane wyniki jest bardzo trudno uogólnić i zastosować w praktyce na skalę techniczną. Dopiero od kilkunastu lat tworzy się modele matematyczne złożonych procesów oczyszczania biologicznego [Henze i in., 1987a, 1987b, 1995 i 1999; Schmidt, 1994; Reichert, 1998; Szetela, 1990 i 1999; IWA, 2000; WRcPlc, 2001; EAWEg, 2002; Hydromantis, 2002]. Modele te służą przede wszystkim do obliczeń symulacyjnych i lepszego poznania procesów realizowanych w układach technologicznych, natomiast bardzo rzadko podejmuje się próby zastosowania ich w praktyce, na przykład do optymalizacji procesu technologicznego. Przyczyna leży w wielkiej złożoności procesów biochemicznych zachodzących podczas oczyszczania ścieków. Proces oczyszczania ścieków, ze względu na uczestniczenie w nim żywych organizmów, przede wszystkim bakterii, i ich bardzo zróżnicowane formy działania w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych, jest jednym z trudniejszych procesów technologicznych, tak do opisu matematycznego jak i sterowania.

Standardowym narzędziem sterowania oczyszczalnią są obecnie układy regulacji automatycznej, zapewniające utrzymywanie na zadanym poziomie stężenia tlenu w zbiornikach z osadem czynnym oraz stopnia recykulacji osadu. W bardziej złożonych układach technologicznych stosuje się również zawracanie ścieków z dalszych do wcześniejszych elementów układu i wówczas mamy do czynienia z regulacją stopnia recykulacji ścieków. Taki sposób sterowania oczyszczalnią jest skuteczny wówczas, gdy są w miarę ustabilizowane parametry ścieków dopływających do oczyszczalni, zwanych *ściekami surowymi*, to znaczy ich ilość oraz skład i stężenia zawartych w nich zanieczyszczeń, nazywane łącznie *ładunkiem zanieczyszczeń*. Często jednak zdarza

się, że te parametry zmieniają się gwałtownie i w znacznym zakresie. Wówczas, reagując na zmiany warunków zewnętrznych, należy zmieniać nastawy regulatorów i to zadanie należy do operatora procesu technologicznego, zwykle kierownika lub technologa oczyszczalni. O skuteczności działań operatora decyduje jego doświadczenie i znajomość obiektu, którym steruje. Zmiana operatora na mniej doświadczonego prowadzi na ogół do zakłóceń w przebiegu procesu technologicznego i w konsekwencji do pogorszenia jakości oczyszczania. Często też błędne decyzje operatora powodują zaburzenia w rozwoju osadu czynnego i wtedy powrót obiektu do stanu równowagi jest trudny i czasochłonny. Dlatego jest celowe stosowanie w oczyszczalniach ścieków systemów komputerowego wspomaganie decyzji technologicznych, stanowiących pomoc dla mniej doświadczonych operatorów procesów.

W pracy przedstawiono między innymi koncepcję takiego systemu opartego na modelach matematycznych oczyszczalni. Modele te, w zależności od ich przeznaczenia, mają różne rodzaje opisu matematycznego w postaci równań różniczkowych zwyczajnych, równań różnicowych i sieci neuronowych, i mają także różny stopień dokładności. Opisują one cały proces technologiczny realizowany w oczyszczalni lub jego elementy realizowane w pojedynczych zbiornikach obiektu. Poszczególne modele służą do wyznaczania takich parametrów obiektu jak objętości czynne zbiorników oczyszczalni, do prognozowania parametrów dopływu ścieków surowych do oczyszczalni, do sterowania poziomem tlenu w zbiornikach oczyszczania biologicznego oraz stopniem recyrkulacji osadu czynnego, a także do symulacji komputerowej przebiegu procesu.

Przyjęto następujący układ pracy: W rozdziale 2 omówiono procesy biologicznego oczyszczania ścieków, podstawowe obiekty oczyszczalni pracującej z osadem czynnym oraz przykłady standardowych oczyszczalni. W rozdziale 3 omówiono standardowe modele oczyszczalni ścieków. W rozdziale 4 opisano systemy pomiarowe oraz planowanie eksperymentu stosowane do wyznaczania modeli matematycznych oczyszczalni. W rozdziale 5 przedstawiono identyfikację *modeli przepływowych* zbiorników oczyszczalni, służących do określenia objętości czynnych tych zbiorników. Rozdział 6 zawiera opis wyznaczania *modelu fizykalnego* oczyszczalni służącego do symulacji komputerowej procesu. Modele przepływowe i model fizykalny są opisane równaniami różniczkowymi zwyczajnymi. W rozdziale 7 omówiono zagadnienia sterowania oczyszczalnią na podstawie modeli oraz opisano wyznaczanie *modeli operacyjnych* oczyszczalni służących do tego celu. Modele te opisuje się za pomocą szeregów czasowych i sieci neuronowych. W rozdziale przedstawiono także koncepcję systemu wspomaganie decyzji, gdzie wyznaczone modele matematyczne są zróżnicowanymi funkcjonalnie modułami systemu.

Praca dotyczy modelowania matematycznego, identyfikacji, symulacji komputerowej i sterowania *miejskimi oczyszczalniami ścieków z osadem czynnym*, zwanymi dalej krótko *oczyszczalniami ścieków* lub po prostu *oczyszczalniami*. Rozważania zilustrowano wynikami przykładowych obliczeń komputerowych. Obliczenia wykonano przy użyciu danych pomiarowych uzyskanych z miejskiej oczyszczalni w Rzeszowie, traktowanej jako obiekt badawczy reprezentujący liczną grupę mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków.

Oryginalnym wkładem pracy w badania oczyszczalni ścieków są wyniki dotyczące identyfikacji modeli przepływowych dla podstawowych zbiorników oczyszczalni, dopasowania modelu fizycznego do rzeczywistego obiektu na podstawie pomiarów zebranych w oczyszczalni w Rzeszowie, wyznaczenia modeli neuronowych do prognozowania dopływu ścieków i sterowania oczyszczalnią oraz opracowanie koncepcji sterowania oczyszczalnią na podstawie modeli matematycznych o różnym stopniu złożoności.

Autor zajmuje się od wielu lat, będąc pracownikiem Instytutu Badań Systemowych PAN, rozwijaniem metod komputerowego modelowania, identyfikacji i optymalizacji oraz ich zastosowaniem w praktyce inżynierskiej do sterowania złożonymi obiektami technicznymi. Na początku lat 1990-ych zainteresował się on zagadnieniami inżynierii środowiska i to zainteresowanie oraz zdobyte doświadczenie doprowadziły do sformułowania zadania sterowania procesem technologicznym oczyszczania ścieków na podstawie zróżnicowanych funkcjonalnie modeli matematycznych. Stanowiło to nowe podejście do badań i usprawniania pracy oczyszczalni. Przedstawiana praca stanowi propozycję rozwiązania tego zadania, przy czym autor uważa za szczególnie ważne, że miał możliwość weryfikacji prowadzonych badań i opracowywanych modeli w rzeczywistym i normalnie eksploatowanym obiekcie.

Jan Studziński

**IDENTYFIKACJA, SYMULACJA I STEROWANIE
OCZYSZCZALNIAMI ŚCIEKÓW**

Monografia dotyczy problematyki modelowania i sterowania mechaniczno-biologicznymi oczyszczalnymi ścieków. Przedstawione badania obejmują opracowanie modeli matematycznych oczyszczalni, ich identyfikację oraz zastosowanie do celów sterowania. Omówiono aktualny stan badań oraz wskazano pożądane kierunki ich rozwoju. Opisano szczegółowo zagadnienia związane z wykonywaniem eksperymentów pomiarowych, opracowywaniem modeli przepływowych wydzielonych zbiorników oczyszczalni, wyznaczeniem modelu fizycznego oczyszczalni oraz modeli neuronowych. Wszystkie rozważania są ilustrowane wynikami przykładowych badań wykonanych pod kierunkiem autora w miejskiej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie.

ISSN 0208-8029
ISBN 83-85847-88-X