



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

8. ZAKOŃCZENIE

W pracy przedstawiono metodykę modelowania matematycznego, identyfikacji, symulacji komputerowej i sterowania mechaniczno-biologicznymi oczyszczalniami ścieków. Szczególnie wiele uwagi poświęcono modelowaniu, ponieważ wszelkie inne działania wiążą się z wykorzystaniem modeli matematycznych. Opisano szczegółowo identyfikację modeli przepływowych, symulację złożonego modelu fizycznego oraz wyznaczanie modeli neuronowych. Zaproponowano koncepcję systemu wspomagania decyzji operatora oczyszczalni, w którym uwzględniono wykorzystanie do różnych zadań wszystkich opisanych tu modeli.

Przedstawiono wyniki obliczeń komputerowych wykonanych przy użyciu rzeczywistych pomiarów. Zebrano je w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni w Rzeszowie w rezultacie przeprowadzonych tam eksperymentów pomiarowych.

Do oryginalnych wyników należy zaliczyć opracowanie modeli przepływowych i wyznaczenie objętości czynnych dla podstawowych zbiorników oczyszczalni. W dotychczasowej praktyce obliczeniowej modelowania oczyszczalni zamiast objętości czynnych stosuje się objętości geometryczne zbiorników. Wykonane badania wykazały, że mogą występować istotne różnice między tymi objętościami i nie uwzględnienie tych różnic może prowadzić do złych wyników modelowania. Kolejnym osiągnięciem było opracowanie modelu fizycznego rzeczywistego obiektu. Kalibracja modelu oczyszczalni w Rzeszowie była możliwa dzięki przeprowadzeniu trudnych i czasochłonnych eksperymentów pomiarowych. Wreszcie oryginalnym wynikiem jest opracowanie modeli neuronowych oczyszczalni oraz koncepcji sterowania obiektem na podstawie zróżnicowanych modeli matematycznych.

Z całości przeprowadzonych studiów i badań wynikają następujące ogólne wnioski:

- modele fizyczne oczyszczalni, jakie są rozwijane w ostatnich latach w światowych ośrodkach badawczych, mają głównie charakter poznawczy;
- aby złożone modele fizyczne mogły mieć również charakter użytkowy, należy znacznie uprościć sposób estymacji ich parametrów;
- przez uproszczenie estymacji rozumiemy tutaj zastosowanie komputerowych algorytmów optymalizacji w odniesieniu do przynajmniej części estymowanych parametrów;
- dobrym narzędziem do działań optymalizacyjnych w oczyszczalniach są modele neuronowe; ich mniejsza dokładność wymaga jednak współdziałania z modelami fizycznymi do weryfikacji uzyskanych za ich pomocą wyników;

- modele matematyczne, wykonujące różne zadania sterowania procesem oczyszczania ścieków, mogą być wykorzystane jako współpracujące ze sobą moduły komputerowego systemu wspomagania decyzji operatora oczyszczalni.

Te wnioski wskazują jednocześnie na dalsze możliwe i celowe kierunki badań oczyszczalni. Takie badania powinny być kontynuowane i dotyczyć w szczególności:

- rozbudowy opracowanego modelu fizykalnego oczyszczalni o procesy defosfatacji,
- zautomatyzowania procesu estymacji parametrów w modelu fizykalnym,
- weryfikacji komputerowego systemu wspomagania decyzji, korzystającego z rozbudowanego modelu fizykalnego i modeli neuronowych oczyszczalni.

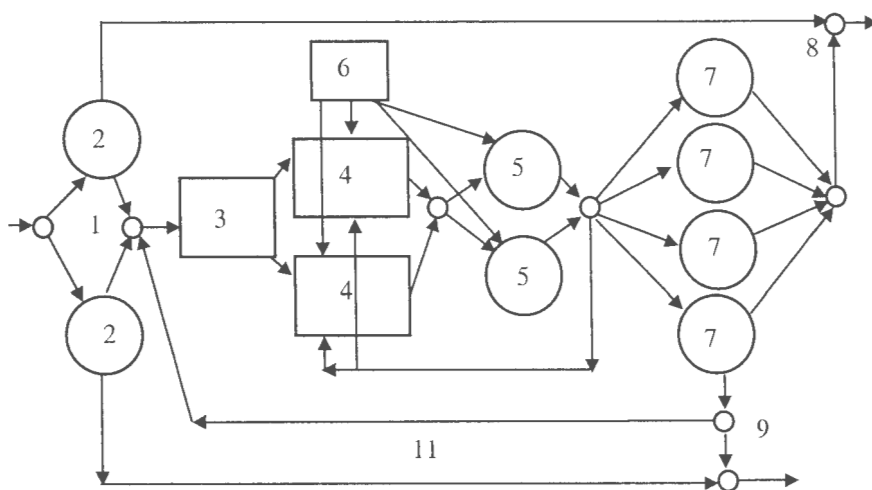
Wykonanie takich badań byłoby obecnie możliwe również w oczyszczalni w Rzeszowie po jej modernizacji w ostatnich latach. Schemat zmodernizowanego układu technologicznego oczyszczalni pokazano na rys. 8.1. Proces oczyszczania ścieków realizowany obecnie w oczyszczalni w Rzeszowie polega już na pełnym oczyszczaniu biologicznym i składa się z sześciu następujących faz:

- (1) sedymentacja grawitacyjna cząstek stałych i organicznych w osadnikach wstępnych;
- (2) dekompozycja biologiczna związków fosforowych w komorach defosfatacji w warunkach anaerobowych;
- (3) dekompozycja biologiczna produktów końcowych z reakcji azotowych w obszarach denitryfikacji komór z osadem czynnym w warunkach anoksydacyjnych;
- (4) dekompozycja biologiczna związków węgla i amoniaku w obszarach nitryfikacji komór z osadem czynnym w warunkach aerobowych (nitryfikacja pierwszego stopnia);
- (5) dekompozycja biologiczna związków węgla i azotynów w obszarach nitryfikacji komór z osadem czynnym w warunkach aerobowych (nitryfikacja drugiego stopnia);
- (6) klarowanie grawitacyjne ścieków w osadnikach wtórnych.

Od nowoczesnych oczyszczalni ścieków wymaga się coraz wyższej sprawności oczyszczania, szczególnie w odniesieniu do związków biogenych. Obecne systemy sterowania oczyszczalniami, w znacznym stopniu oparte na doświadczeniu i intuicji operatora procesu technologicznego, stosunkowo często tych wymagań nie spełniają, co nie jest zaskoczeniem, biorąc pod uwagę wielką złożoność współczesnych oczyszczalni.

W przedstawionej pracy zaproponowano nowe rozwiązanie zagadnienia sterowania oczyszczalnią za pomocą systemu wspomagania decyzji operatora

procesu, z wykorzystaniem zróżnicowanych pod względem opisu i funkcji modeli matematycznych obiektu. Autor jest przekonany, że takie systemy powinny być i będą w przyszłości stosowane w oczyszczalniach ścieków, co znacznie usprawni ich funkcjonowanie. Ma on też nadzieję, że wyniki tej pracy pomogą w realizacji tego celu.



Rys. 8.1. Schemat modernizowanej oczyszczalni ścieków: (1) kanał dopływowy ścieków surowych; (2) osadniki wstępne; (3) komory defosfatacji; (4) komory z osadem czynnym do denitryfikacji i nityfikacji pierwszego stopnia; (5) komory z osadem czynnym do nityfikacji drugiego stopnia; (6) układ napowietrzania komór (4) i (5); (7) osadniki wtórne; (8) kanał odpływowy ścieków oczyszczonych; (9) układ recykulacji zewnętrznej przeprowadzający osad czynny z osadników (7) do komór (3); (10) układ recykulacji wewnętrznej przeprowadzający ścieki z komór (5) do (4); (11) układ odprowadzania osadu nadmiernego.

Na zakończenie chciałbym podkreślić, że uzyskanie wyników badań obliczeniowych przedstawionych w pracy i stanowiących ilustracje rozważań było możliwe w istotnym stopniu dzięki projektom badawczym Komitetu Badań Naukowych, realizowanym pod kierunkiem autora w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie (Studziński, 1997 i 2002d). Z drugiej strony było to również możliwe dzięki pozytywnemu nastawieniu do wykonywanych badań i wyjątkowej gotowości do współpracy wodociągów rzeszowskich, które udostępniły miejską oczyszczalnię ścieków do przeprowadzania licznych eksperymentów. Dlatego chciałbym w tym miejscu serdecznie podziękować za tę współpracę pracownikom oczyszczalni i dyrektorowi MPWiK w Rzeszowie mgrowi inż. Adamowi Tuni.

LITERATURA

- Aborhey S., Williamson D. (1978): *State and parameter estimation of microbial growth processes*. Automatica, 14, 493–498.
- Andersson T., Pucar P. (1995): *Estimation of residence time in continuous flow systems with dynamics*. J. Proc. Control, 5, 9–17.
- Arnold E., Dietze S., Reichl G. (2002): *Application of model predictive control for long term operation of municipal wastewater treatment plant*. In: Technology, Automation and Control of Wastewater and Drinking Water Systems. 1st International Conference TiASWiK'2002, Gdańsk, 211–216.
- ATV (1991): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Regelwerk Abwasser-Abfall*. Ein Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. Arbeitsblatt A 131.
- Ayeya E., Florez J., Garcia-Heras J.L., Larrea L. (1991): *State and coefficient estimation for the activated sludge process using a modified Kalman filter algorithm*. Water Science and Technology, 24, 235–247.
- Bandrowski J., Merta H., Ziolo J. (1995): *Sedymentacja zawiesin*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Bernacka J., Kurbiel J., Pawłowska L. (1992): *Usowanie związków biogenych ze ścieków miejskich*. Wyd. IOŚ, Warszawa.
- Bhat N., McAvoy T. (1990): *Use of neural nets for dynamic modelling and control of chemical process systems*. Computer and Chemical Engineering, 14, 573–583.
- Bogdan L., Łomotowski J., Nahorski Z., Studziński J., Szetela R. (1998): *Mathematical model and its calibration for Rzeszow wastewater treatment plant*. Environment protection Engineering, 24, 1–2, 95–112.
- Bogdan L., Łomotowski J., Nahorski Z., Studziński J., Szetela R. (2000a): *Mathematical and neural network modelling of a wastewater treatment plant*. Archives of Control Sciences, 10, 1–2, 89–118.
- Bogdan L., Łomotowski J., Nahorski Z., Studziński J., Szetela R. (2002a): *Modelowanie matematyczne procesów oczyszczania w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków*. W: Automatyka – Sterowanie – Zarządzanie, IBS PAN, Seria Badania Systemowe, Warszawa, 413–429.
- Bogdan L., Nahorski Z., Łomotowski J., Studziński J., Szetela R. (2000b): *Modelling and calibration of a municipal wastewater treatment process model*. Systems Science, 26, 2, 125–144.
- Bogdan L., Nahorski Z., Studziński J. (2002b): *Modele hydrauliczne i operacyjne dla mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków*. W: Automatyka – Sterowanie – Zarządzanie, IBS PAN, Seria Badania Systemowe, Warszawa, 397–411.

- Bogdan L., Nahorski Z., Studziński J., Łomotowski J. (2003): *Modellierung dynamischer Prozesse in Kläranlagen*. In: *Theorie und Modellierung von Ökosystemen* (A. Gnauck, Hrsg.): Shaker-Verlag, Schriftenreihe Umweltinformatik, Aachen, 73–88.
- Bogdan L., Nahorski Z., Studziński J., Łomotowski J., Szetela R. (2002d): *On-line control of a wastewater treatment plant using mathematical models and neural networks*. In: *Technology, Automation and Control of Wastewater and Drinking Water Systems*. 1st International Conference TiASWiK'2002, Gdańsk, 217–224.
- Bogdan L., Studziński J. (2002): *Modelowanie matematyczne, identyfikacja i sterowanie oczyszczalnią ścieków*. In: *Advanced Simulation of Systems*. 23rd International Autumn Colloquium ASIS'2002, October 23–25, Ostrava, 85–90.
- Brdys M.A., Grochowski M., Duzinkiewicz K., Chotkowski W., Liu Y. (2002): *Design of control structure for intergrated wastewater treatment plant sewer system*. In: *Technology, Automation and Control of Wastewater and Drinking Water Systems*. 1st International Conference TiASWiK'2002, Gdańsk, 21–40.
- Buckheit J., Donoho D. (1995): *WaveLab Version 0.700*. Stanford University.
- Capodoglio A., Novotny V., Fortina L. (1992): *Modelling wastewater treatment plants through time series analysis*. *Environmetrics*, 3, 99–120.
- Carrasco E.F., Rodrigues J., Punal A., Roca E., Lema J.M. (2002): *Rule based diagnosis and supervision of a pilot scale plant using fuzzy logic techniques*. *Expert Systems with Applications*, 22, 11–20.
- Carstensen J. (1994): *Identification of wastewater processes*. PhD Thesis, IMSOR, Technical University of Denmark, Lyngby.
- Cech J.S., Chudoba J., Grau P. (1985): *Determination of kinetic constants of activated sludge microorganisms*. *Water Science and Technology*, 17, 259–272.
- Cuillard D., Zhu S. (1992): *Control strategy for the activated sludge process under shock loading*. *Water Research*, 26, 649–655.
- Cywiński B., Gduła S., Kurbiel J., Płoszański H. (1983): *Oczyszczanie ścieków*. Arkady, Warszawa.
- Daigger G.T., Roper R.E. (1995): *The relationship between SVI and activated sludge characteristics*. *JWPCF*, 57, p. 859.
- Daubechies I. (1992): *Ten lectures on wavelets*. Philadelphia: SIAM.
- Davidor Y. (1991): *Genetic Algorithms. A Heuristic Strategy for Optimzation*. World Scientific, Singapore.
- Demuth H., Beale M. (2000): *Neural network toolbox for use with MATLAB. Users Guide Version 4*. The MathWorks Inc., Natic, Maine.

- Diehl S. (1992): *A conservation law with point source and discontinuous flux function modelling continuous sedimentation*. Report ISRN LUFTD2/TFMA-7011-SE. Department of Mathematics, Lund Institute of Technology.
- Dochain D., Vanrolleghem P.A. (2001): *Dynamical modelling and estimation in wastewater treatment processes*. IWA Publishing.
- Dold P.L., Marais G.R. (1986): *Evolution of general activated sludge model proposed by IAWAPRC Task Group*. Water Science and Technology, 18, 63.
- Downing A.L., Painter H.A., Knowles G. (1964): *Nitrification in the activated sludge process*. J. Inst. Sew. Purific., 2, 120–158.
- Dymaczewski Z., Sozański M.M. (red.) (1995): *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Wyd. PZLiTS, Poznań.
- Dymaczewski Z. (2002): *Badanie kinetyki przemian zanieczyszczeń na potrzeby modelowania matematycznego wysokoefektywnych procesów oczyszczania ścieków miejskich osadem czynnym*. Politechnika Poznańska, Poznań.
- EAWAG (2002): *AQUASIM: Computer program for the identification and simulation of aquatic systems*. Dübendorf/Switzerland, www.aquasim.eawag.ch.
- Ekama G.A., Dold P.L., Marais G.R. (1986): *Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems*. Water Science and Technology, 18, 91.
- Enbutsu I., Baba K., Hara N., Waseda K., Nogita S. (1993): *Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems*. In: 6th IAWQ Workshop on Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transportation Systems (B. Jank, ed.), Berlington, 181.
- Flanagan M.J., Bracken B.D., Rösler J.F. (1977): *Automatic dissolved oxygen control*. J. on Environmental Engineering Division, 707–722.
- Encyklopedia Powszechna (1973): PWN Warszawa.
- Gelormino M.S., Ricker N.L. (1994): *Model predictive control of a combined sewer system*. Int. J. Control, 59, 793–816.
- Goldberg D.E. (1998): *Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie*. WNT, Warszawa.
- Goodwin G.C., Payne R.L. (1977): *Dynamic system identification: Experiment design and data analysis*. Academic Press, London.
- Grady Jr. L.P.C., Gujer W., Henze M., Marais G.R., Matsuo T. (1986): *A model for single sludge wastewater treatment systems*. Water Science and Technology, 18, 47.
- Gujer W., Henze M., Mino T., M.C.M. Loodsrecht (1999): *Activated sludge model No. 3*. Water Science and Technology, 39, 183–194.

- Gustavsson I. (1971): *Choice of sampling interval for parameter identification*. Report 7103 Lund Institute of Technology, Lund.
- Gutenbaum J. (2003): *Modelowanie matematyczne systemów*. AOW EXIT, Warszawa.
- Hagen M., Demuth H., Beale M. (1996): *Neural network design*. PWS Publishing, Boston, MA.
- Hartmann L. (1996): *Biologiczne oczyszczanie ścieków*. Wyd. Instalator Polski, Warszawa.
- Haykin S. (1994): *Neural network, a comprehensive foundation*. McMillan College Publishing Co., New York.
- Heiderer K. (1989): *Simulation von Kläranlagen*. Diplomarbeit am Inst. f. Mathem. Maschinen und DVA d. Friedrich-Alexander-Univ. Erlangen-Nürnberg.
- Henze M., Grady Jr. L.P.C., Gujer W., Marais G.R. (1987a): A general model for single sludge wastewater treatment systems. *Water Research*, 21, 505.
- Henze M., Grady Jr. C.P.L., Marais G.R., Matsuo T. (1987b): *Activated sludge model No. 1*. IAWPRC Scientific and Technical Reports No. 1, IAWPRC, London.
- Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M.C., Marais G.R. (1995): *Activated sludge model No. 2*. IAWQ Scientific and Technical Report No. 3, IAWQ, London.
- Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M.C., Marais G.R., Loodsrecht M.C.M. (1999): *Activated sludge model No. 2, ASM2D*. *Water Science and Technology*, 39, 165–182.
- Hiraoka M., Tsumura K., Fujitsa I., Kanaya T. (1990): *System identification and control of activated sludge process by use of autoregressive model*. In: Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transportation Systems. *Advances in Water Pollution Control* (R. Briggs, ed.), IAWPRC, Pergamon Press, 121–128.
- Holmberg A. (1982): *On the practical identifiability of microbial growth model incorporating Michaelis-Menten type nonlinearities*. *Math. Biosciences*, 62, 23–43.
- Holmberg A., Ranta J. (1982): *Procedures for parameter and state estimation of a microbial growth process model*. *Automatica*, 18, 181–193.
- Hsu K., Gao X., Sorooshian S., Gupta H.V. (1997): *Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks*. *J. of Applied Meteorology*, 36, 9, 1176–1190.

<http://www.cawag.ch>.

<http://www.hydromantis.com>.

<http://www.iwahq.org.uk>.

<http://www.wrcplc.co.uk>.

Hydromantis (2002): *GPS-X: Dynamic Wastewater Treatment Plant Simulation*. Ontario/Canada, <http://www.hydromantis.com/software.html>.

Isermann R. (1974): *Prozessidentifikation – Identifikation und Parameterschätzung dynamischer Prozesse mit diskreten Signalen*. Springer-Verlag BerlinHeidelberg New York

IWA (2000): *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment. IWA Scientific and Technical Report No. 9, IWA Publishing, London/UK, <http://www.iwapublishing.com>.

James A. (1986): *Modelowanie matematyczne w oczyszczalniach ścieków i ochronie wód*. Arkady, Warszawa.

Jeppsson U., Olsson G. (1993): *Reduced order models for on-line parameter identification of the activated sludge process*. In: 6th IAWQ Workshop on Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transportation Systems (B. Jank, ed.), Berlington, 151.

Jones G.L. (1973): *Bacterial growth kinetics: Measurements and significance in the activated sludge process*. Water Research, 1475–1492.

Jones G.L. (1977): *A mathematical model for bacterial growth and substrate utilisation in the activated sludge process*. In: *Mathematical Models in Water Pollution Control* (A. James, ed.), Wiley- Interscience, Chichester, 265–280.

Katebi R., Johnson M.A., Wilkie J. (1999): *Control and Instrumentation for Wastewater Treatment Plants*. Springer Verlag, Serie Advances in Industrial Control.

Kayser R. (1990): *Process control and expert systems for advanced wastewater treatment plant*. In: *Instrumentation, control and automation of water and wastewater treatment and transport systems* (R. Briggs, ed.), Pergamon Press, Oxford.

Kostecki Z. (1997): *Automatyzacja procesu oczyszczania ścieków na podstawie rozwiązań stosowanych w oczyszczalni ścieków „Dębogórze”*. W: II Konferencja TiASWiK pn. *Technologia i Automatyzacja Systemów Wodociągowych i Kanalizacyjnych* (K. Duzinkiewicz, M. Kozyra, red.), Starbienino, 121–126.

Kowal A.L. (red.) (1997): *Odnowa wody*. Oficyna Wydawnicza Politechn. Wr, Wrocław.

Krawczak M. (1995): *Opis techniczny i technologiczny mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie*. Raport IBS PAN, Warszawa.

- Krawczak M., Studziński J. (1996): *Opis procesów technologicznych i systemów automatyki w oczyszczalniach ścieków w Pile i Dębogórze*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Ky R.C., Makinia J., Takacs I (2002): *Comparing predictive abilities of ASM1 and ASM3 at full scale WWTP*. In: Technology, Automation and Control of Wastewater and Drinking Water Systems. 1st International Conference TiASWiK'2002, Gdańsk, 195–203.
- Kynch G.J. (1952): *A theory of sedimentation*. Trans. Faraday Soc., 48, 166–176.
- Lange O. (1965): *Wstęp do ekonometrii*. PWN Warszawa.
- Lessard P., Beck M.B. (1988): *Dynamic modelling of primary sedimentation*. J. Envir. Engin., 114, 4, 753–769.
- Licznar P., Łomotowski J., Rojek M., Rojek M., Studziński J. (2001): *Wybrane zagadnienia z zakresu pomiarów i metod opracowywania danych automatycznych stacji meteorologicznych*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, 428, 64, Seria Monografie 25.
- Łomotowski J. (1996): *Skład ścieków miejskich i sposoby ich oczyszczania*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Łomotowski J. (1997a): *Kinetyka biochemicznych procesów zachodzących w osadzie czynnym*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Łomotowski J. (1997b): *Kinetyka biochemicznych procesów zachodzących w wydzielonych komorach fermentacyjnych*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Łomotowski J. (1998a): *Modelowanie zmian natężenia ścieków dopływających do oczyszczalni za pomocą współczynników dopływu*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Łomotowski J. (1998b): *Przygotowanie danych obliczeniowych dla potrzeb symulacji komputerowej pracy osadu czynnego za pomocą systemu ARASIM*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Łomotowski J., Szpindor A. (1999): *Nowoczesne metody oczyszczania ścieków*. Arkady, Warszawa.
- Mańczak K. (1976): *Technika planowania eksperymentu*. WNT Warszawa.
- Mańczak K., Nahorski Z. (1983): *Komputerowa identyfikacja układów dynamicznych*. PWN Warszawa.
- Mao H., Smith D.W. (1995): *A mechanic model for assessing biodegradability of complex wastewaters*. Water Research, 29, 8, 1957–1975.
- Monod J. (1949): *The growth of bacterial cultures*. Annals Review of Microbiology, 3.
- Mrozek B., Mrozek Z. (1998): *MATLAB 5.x. SIMULINK 2.x. Poradnik użytkownika*. Wyd. PLJ, Warszawa.

- Nahlik J., Burianec Z. (1988): *On-line parameter and state estimation of continuous cultivation by extended Kalman filter*. Appl. Microb. and Biotech., 28, 128–134.
- Nahorski Z. (1991): *Identyfikacja obiektów z czasem ciągłym na podstawie zakłóconych dyskretnych pomiarów przebiegów przejściowych*. PWN, Warszawa.
- Nahorski Z. (1996): *Przegląd zagadnień związanych z modelowaniem i sterowaniem automatycznym oczyszczalni ścieków*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Nahorski Z. (1997): *Planowanie eksperymentu dla identyfikacji modeli dynamicznych*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Nahorski Z., Studziński J. (red.) (1988): *Pakiet programów IDOL do opracowywania danych i identyfikacji obiektów dynamicznych*. Prace IBS PAN, Warszawa, 163.
- Niemi A.J. (1988): *Variable parameter model of the continuous flow vessel*. Math. Comp. Modelling, 11, 32–37.
- Novotny V., Jones H., Feng X., Capodaglio A. (1991): *Time series analysis models of activated sludge plants*. Water Science and Technology, 23, 1107–1116.
- Olsson G., Andersson B., Hellstroem B., Holmstroem H., Reinius L., Vopatek P. (1989): *Measurements, data analysis and control methods in wastewater treatment plants – state of the art and future trends*. Water Science and Technology, 21, 1333–1345.
- Olsson G., Newell B. (1999): *Wastewater Treatment Systems – Modelling, Diagnosis and Control*. IWA Publishing, London.
- Patry G.G., Takacs I. (1992): *Settling of flocculent suspensions in secondary clarifiers*. Water Research, 26, 4, 473–479.
- Reichert P. (1998): *AQUASIM - Computer program for the identification and simulation of aquatic systems. User Manual & Tutorial*. EAWAG, Dübendorf/Switzerland.
- Runqwis L. (1985): *Integral action and mode transitions in self-tuning process control*. Report LUTFD2, Departm. On Automatic Control, Lund Institute Technology.
- Sargan J.D. (1976): *Some discrete approximation to continuous time stochastic models*. In: A.R. Bergstrom (Ed.) Statistical inference in continuous time economics models. North Holland Amsterdam.
- Schmidt B. (ed.) (1994): *ARASIM – Ein Simulationssystem der neuen Generation zur Simulation von Kläranlagen*. In: Modellbank ARASIM, Report des Lehrstuhls für Operationsresearch und Systemtheorie der Universität Passau.
- Schmidt B. (1995): *SIMPLEX II – Ein integriertes Simulationssystem*. SCS Ghent.
- Skaskiewicz A. (1995): *Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie*. Raport IBS PAN, Warszawa.

- Skaskiewicz A. (1996): *Ogólne zasady i zalecenia technologiczne dla operatora procesu oczyszczania ścieków w oczyszczalni Rzeszów*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Skaskiewicz A. (1997): *Opis procesu nitryfikacji, denitryfikacji i defosfatacji w oczyszczalni Rzeszów przy zastosowaniu napowietrzania symultanicznego*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Stephenson M. (1928): *On lactic dehydrogenase. A cell-free enzyme preparation obtained from bacteria*. Biochemical Journal, 22, 605-614.
- Studziński J. (1981): *Dwie metody identyfikacji systemów dynamicznych*. Prace IBS PAN, Warszawa, 87.
- Studziński J. (1994a): *O razrabotke matematyčeskich modelej teczenja steklannoj massy w wannych steklowarennych peczach*. Stupen, Moskwa.
- Studziński J. (1994b): *Projekt podstawowego oprzyrządowania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Studziński J. (1995a): *Technologie mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków w oczyszczalniach w Swarzewie i Jastrzębiej Górze*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Studziński J. (1995b): *Pakiety komputerowe wizualizacji i symulacji oczyszczalni ścieków*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Studziński J. (1996): *Opis procesu technologicznego i systemu automatyki w oczyszczalni ścieków w Brueck*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Studziński J. (1997): *Raport końcowy projektu badawczego 4 1064 93C/1161: System komputerowego wspomaganie decyzji technologicznych w miejskiej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej w Rzeszowie*. IBS PAN Warszawa.
- Studziński J. (2000): *The use of mathematical models of the wastewater purification process for computer aided decision making*. In: Simulation in Industry. 12th European Simulation Symposium ESS'2000 (D.P.F. Moeller, ed.), SCS Publication, Hamburg, 624–629.
- Studziński J. (2001): *Komputerowe wspomaganie zarządzania komunalną oczyszczalnią ścieków*. W: Rozwój i zastosowania technologii i systemów informatycznych. IBS PAN, Seria Badania Systemowe, 28, Warszawa, 317–327.
- Studziński J. (2002a): *Wastewater treatment plant maintenance using the plant mathematical models*. In: Quality, Reliability and Maintenance. 4th International Conference QRM'2002 (G.J. McMulty, ed.), PEP London, 137–140.
- Studziński J. (2002b): *Komputerowe wspomaganie zarządzania miejską gospodarką wodno-ściekową na podstawie modeli matematycznych sieci wodociągowo-kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków*. W: Komputerowe wspomaganie zarządzania i procesów decyzyjnych w gospodarce. IBS PAN, Seria Badania Systemowe, 31, Warszawa, 281–294.

- Studziński J. (2002c): *Computer aided management of water-wastewater systems in municipal waterworks*. In: Modelling, Simulation and Optimization of Systems. 14th European Simulation Symposium ESS'2002 (A. Verbraeck, W. Krug, eds), Dresden, 363–369.
- Studziński J. (2002d): *Raport końcowy projektu badawczego 8T11A 01016: Optymalizacja i sterowanie procesu technologicznego w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków na podstawie modeli matematycznych*. IBS PAN Warszawa.
- Studziński J., Chudzik B., Kaczmarska D. (1999a): *Komputerowy system wspomagania decyzji operatorskich w miejskiej sieci wodociągowej*. W: Systemy Informacji Zarządzanej (A. Januszewski, red.), V Konf. KSW'99, Ciechocinek, 199–207.
- Studziński J., Tesche Th., Bogdan L. (1999c): *Control of wastewater treatment plants using neural networks for decision making and forecasting*. Proceedings of 10th European Simulation Symposium on Simulation in Industry, Nottingham, UK, 633–637.
- Studziński J., Łomotowski J. (2002a): *Modellierung ökologischer Prozesse in Kläranlagen*. In: Systemtheorie und Modellierung von Ökosystemen (A. Gnauck, Hrsg.). Physica-Verlag, Schriftenreihe Umweltwissenschaften, Heidelberg, 169–179.
- Studziński J., Łomotowski J. (2002b): *Zur computergestützten Führung von Kläranlagen anhand mathematischer Modelle des Klärprozesses*. In: Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften (J. Wittmann, A. Gnauck, Hrsg.). Shaker-Verlag, Schriftenreihe Umweltinformatik, Aachen, 65–73.
- Studziński J., Łomotowski J., Bogdan L., Nahorski Z., Szetela R. (2003): *Modellierung, Simulation und Optimierung von Prozessen in Kläranlagen*. In: Theorie und Modellierung von Ökosystemen (A. Gnauck, Hrsg.). Shaker-Verlag, Schriftenreihe Umweltinformatik, Aachen, 187–200.
- Studziński J., Skaskiewicz A. (1997): *Opis systemu zbierania i wizualizacji pomiarów w oczyszczalni Rzeszów*. Raport IBS PAN, Warszawa.
- Svrcek W.Y., Elliot R.F., Zajic J.F. (1974): *The extended Kalman filter applied to a continuous culture model*. Biotech. Bioeng., 16, 827–846.
- Szetela R. (1990): *Model dynamiczny oczyszczalni ścieków z osadem czynnym*. Prace Naukowe Inst. Inż. Ochrony Środow. PWr, 64, Seria Monografie, 32.
- Szetela R. (1997): *Modelowanie matematyczne oczyszczalni ścieków*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Szetela R. (1998): *Wstępna kalibracja modelu symulacyjnego oczyszczalni w Rzeszowie*. Raport IBS PAN Warszawa.
- Szetela R. (1999): *Symulator oczyszczalni – SymOS*. ECO-CONSULT, Wrocław.

- Szetela R. (2000): *Symulator SymOS – narzędzie do projektowania, eksploatacji i diagnostyki procesów oczyszczania ścieków osadem czynnym*. W: Wspomaganie komputerowe w projektowaniu i eksploatacji systemów wodociągowych i kanalizacyjnych (J.F. Lemański, J. Łomotowski, S. Zabawa, red.), IV Symp. Naukowo-Szkoleniowe PZLiTS i AR we Wrocławiu, Świnoujście-Kopenhaga, 22–39.
- Tadeusiewicz R. (1993): *Sieci neuronowe*. AOW, Warszawa.
- Takacs I., Party G.G., Nolasco D. (1991): *A dynamic model of the clarification thickening process*. Water Research, 25, 10, 1263-1271.
- Tarnowski J., Chotkowski W., Cytawa S., Brdys M.A., Duzinkiewicz K. (2002): *Application of ASM2 for modelling phosphorus removal along trunk sewer based on Swarzewo WWTP data*. In: Technology, Automation and Control of Wastewater and Drinking Water Systems. 1st International Conference TiASWiK'2002, Gdańsk, 181-187.
- Uhlmann D. (1982): *Hydrobiologie*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Umowa KBN nr 8T11A 01016: *Optymalizacja i sterowanie procesu technologicznego w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków na podstawie modeli matematycznych*. IBS PAN, Warszawa.
- Umowa KBN nr 6T11O 532001C/5535: *Komputerowy system wspomagania operatora i projektanta sieci wodociągowej w Rzeszowie*. IBS PAN, Warszawa.
- Veselind P.A. (1968): *Design of prototype thickeners from bath settling tests*. Water and Sewage Works, 115, 302.
- Wanner O., Kapler J., Gujer W. (1991): *Calibration of an activated sludge model based on human expertise and on a mathematical optimization technique - a comparison*. Water Science and Technology, 25, 141.
- Watanabe S., Baba K., Yoda M., Wu W., Enbutsu I., Hiraoka M., Tsumara T. (1993): *Intelligent operation support system for activated sludge process*. In: 6th IAWQ Workshop on Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transportation Systems (B. Jank, ed.), Berlington, 171-180.
- Wentzel M.C., Ekama G.A., Marais G.R. (1992): *Processes and modelling of nitrification-denitrification biological excess phosphorus removal systems – a review*. Water Science and Technology, 25, 59.
- Wentzel M.C., Dold P.L., Ekama G.A., Marais G.R. (1985): *Kinetics of biological phosphorus release*. Water Science and Technology, 17, 11/12.
- Widman L.E., Loparo K.A., Nielsen N.R. (1989): *Artificial Intelligence. Simulation and Modelling*. John Wiley & Sons, New York.

- Wojtyna R. (2003): *Sprzętowa realizacja adaptacyjnych sieci neuronowych*. W: Zastosowania informatyki i analizy systemowej w zarządzaniu (J. Studziński, L. Drelichowski, O. Hryniewicz, red.). IBS PAN, Seria Badania Systemowe, 33, Warszawa, 325–335
- Wolf K.H. (1994): *Aufgaben zur Bioreaktionstechnik*. Springer Verlag, Serie Biotechnologie.
- Wooldrige W.R., Standfast A.F.B. (1936): *The role of enzymes in activated sludge and sewage oxidation*. *Biochemical Journal*, 30, 9, 1542-1543.
- WRcPlc (2001): *WRc STOAT: Dynamic Modeling of Wastewater Treatment Plants*. WRc Utilities Software, Swindon/UK, <http://www.wrcplc.co.uk/software/>.
- Żurada J. (1992): *Introduction to artificial neural networks*. West Publishing Company.

SKOROWIDZ

<i>Abwasser-Reinigungs-Anlagen-SIMulation</i>	54
<i>Activated Sludge Model No. 1</i>	45
<i>Activated Sludge Model No. 2</i>	45
<i>amonifikacja</i>	12, 101
<i>ARASIM</i>	52, 54, 110
<i>ARMA</i>	81, 130
<i>ASM1</i>	45, 52
<i>ASM2</i>	45, 52, 119
<i>ASM2d</i>	52
<i>ASM3</i>	52
<i>AQUASIM</i>	45, 52
<i>azotany</i>	97
<i>azotyny</i>	97, 124
<i>azot amonowy</i>	96
- <i>azotanowy</i>	96
- <i>azotynowy</i>	96
- <i>ogólny</i>	96
- <i>organiczny</i>	96
<i>bakterie Acinetobacter</i>	21
- <i>amonifikacyjne</i>	123
- <i>Arthrobacter</i>	21
- <i>autotroficzne</i>	11, 39
- <i>fakultatywne</i>	21
- <i>heterotroficzne</i>	11, 39, 123
- <i>Nitrobacter</i>	12, 21, 123
- <i>Nitrosocystis</i>	21
- <i>Nitrosolubus</i>	21
- <i>Nitrosomonas</i>	12, 21, 123
- <i>Nitrosospira</i>	21
- <i>nitryfikacyjne</i>	11
<i>biblioteka programów IDOL</i>	81
<i>biogeny</i>	16
<i>Biologiczne Zapotrzebowanie Tlenu</i>	14
<i>Biologiczne Zapotrzebowanie Tlenu w okresie pięciodniowym</i>	14
<i>biomasa autotroficzna</i>	98
- <i>bakterii</i>	20
- <i>heterotroficzna</i>	98
<i>biostabilizacja osadów pościekowych</i>	24
<i>BZT</i>	14, 95
<i>BZT₅</i>	14, 95

<i>Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu</i>	14, 95
<i>ChZT</i>	14, 95
<i>czas stabilizacji</i>	66
<i>defosfatacja</i>	11, 20, 38
<i>dekarbonizacja</i>	12
<i>denitryfikacja</i>	11, 20, 38
- dysymilacyjna	12
<i>dopływ ścieków surowych</i>	34
<i>EFOR</i>	52
<i>eksperyment bierny</i>	57, 71
<i>eksperyment czynny</i>	57
<i>frakcja łatwo rozkładalna</i>	14
- nierozkładalna	14
- nierozpuszczona	13
- rozkładalna	13, 14
- rozpuszczona	13
- ścieków	13, 21, 96
- zanieczyszczeń	13, 96
- wolno rozkładalna	14
<i>funkcja aktywacji</i>	128
- logistyczna	136
- Monoda	37, 119, 123
- odcinkami stała	59
- przejścia	128
- schodkowa	59
- Tacacsza	120
- Veselinda	120
<i>gospodarka osadowa</i>	14, 17, 23
<i>GPS-X</i>	45, 52
<i>Gustavsson L.</i>	68
<i>Henze M.</i>	45
<i>hydrolazy</i>	11, 20
<i>hydroliza</i>	11, 20, 35, 38, 101
<i>IAWQ ASM</i>	45
<i>identyfikacja modelu</i>	110
<i>IDOL</i>	81
<i>inhibitor</i>	37
<i>jony NH₄⁺</i>	20
- NO ₂ ⁻	20
- NO ₃ ⁻	20
<i>kalibracja modelu</i>	110
<i>klarowanie ścieków</i>	23

<i>komora defosfatacji</i>	16
- <i>denitryfikacji</i>	16
- <i>fermentacyjna</i>	24
- <i>napowietrzania</i>	20, 87, 98
- <i>nitryfikacji</i>	16
- <i>z osadem czynnym</i>	20, 38, 98
<i>krok próbkowania</i>	62
<i>Kynch G.J.</i>	43
<i>liza</i>	20, 38
<i>ładunek zanieczyszczeń</i>	9, 20
<i>metoda Clarke'a</i>	82
- <i>Kalmana</i>	82
- <i>największej wiarygodności</i>	82
- <i>regresji liniowej</i>	87
- <i>regresji nieliniowej</i>	87
<i>mętność ścieków</i>	31
<i>model ARASIM</i>	52, 54, 110
- <i>ARMA</i>	81, 130
- <i>ASM1</i>	45, 52
- <i>ASM2</i>	45, 52, 119
- <i>ASM2d</i>	52
- <i>ASM3</i>	52
- <i>AQUASIM</i>	45, 52
- <i>EFOR</i>	52
- <i>fenomenologiczny</i>	33, 94
- <i>fizyczny</i>	9, 33, 94, 126
- <i>GPS-X</i>	45, 52
- <i>komorowy</i>	34
- <i>neuronowy</i>	126
- <i>operacyjny</i>	9, 127
- <i>przepływowy</i>	9, 78
- <i>sterowania</i>	142
- <i>SIMBA</i>	52
- <i>SIMNON</i>	52
- <i>STOAT</i>	45, 52
- <i>WEST</i>	52
- <i>WRc ASM</i>	45
- <i>WTPD</i>	53
<i>Monod J.</i>	37, 119, 123
<i>neuron</i>	127
<i>NH₄⁺</i>	20
<i>nitryfikacja</i>	11, 20, 38
- <i>pierwszego stopnia</i>	12, 20

- drugiego stopnia	12, 20
NO_2^-	20
NO_3^-	20
objętość czynna	33, 75, 79
- geometryczna	75
oczyszczalnia w Brücker	30
- w Cottbus	54
- w Dębogórze	27
- w Jastrzębiej Górze	30
- w Pile	28
- w Poznaniu	34, 62
- w Rzeszowie	26
- ścieków w Swarzewie	29
oczyszczanie biologiczne	8
- mechaniczne	7
- symultaniczne Schreibera	30
optimum lokalne	82
osad czynny	8
- nadmierny	8, 17, 23, 41
- recykulowany	8
- surowy	17, 19
- zawracany	8, 41
osadnik wstępny	18, 34, 97
- wtórny	23, 41, 105
piasek	18
piaskownik	18
planowanie eksperymentu	57
podnoszenie się poziomu osadu	23
poletko osadowe	24
powstawanie piany	22
puchnięcie osadu	22
recyrkulacja osadu	24
- ścieków	24
reguła decyzyjna	124
równanie autoregresji	34
- bilansowe	76
- ciągłości	42
- kinetyki	36
- operatorowe	80
- różnicowe	80
- stochastyczne	79
Sargan J.D.	68

<i>Schmidt B.</i>	54
<i>sedymentacja</i>	7
<i>sieć neuronowa</i>	34, 127
- - jednokierunkowa	129
- - rekurencyjna	129
<i>siła grawitacji</i>	42, 112, 113
<i>SIMBA</i>	52
<i>SIMNON</i>	52
<i>spalarnia osadu</i>	25
<i>STOAT</i>	45, 52
<i>stopień recyrkulacji osadu</i>	8
- - ścieków	8
- - wewnętrznej	17
- - zewnętrznej	17
<i>strefa klarowania osadnika</i>	23, 41
- sedymentacji	23, 41
- zagęszczania	23
<i>substrat</i>	36
<i>system ekspercki</i>	126
- monitoringu	56
- PROCON	56
- WIZCON	56
- wizualizacji	56
<i>szarża pomiarowa</i>	56
<i>szereg czasowy</i>	34, 81
<i>Szetela R.</i>	53
<i>ścieki surowe</i>	9
- zwracane	17
<i>Tacacs L.</i>	43, 106, 120
<i>tlen rozpuszczony</i>	98
<i>układ recyrkulacji osadu</i>	24
- - ścieków	24
- - wewnętrznej	24, 108
- - zewnętrznej	24, 108
<i>Veselind P.A.</i>	43, 106, 120
<i>warstwa sieci neuronowej</i>	128
- - - ukryta	129
- - - wejściowa	129
- - - wewnętrzna	127
- - - wyjściowa	129
<i>warunki aerobowe</i>	11, 39
- anaerobowe	11
- anoksyczne	11, 40

- tlenowe	11
WEST	52
węglowodory	11
WIZCON	56
WKF	24
WRc ASM	45
WTPD	53
Wydzielona Komora Fermentacyjna	24
wypływanie osadu	19, 23
wzór Stokesa	18
- Tacacsza	43, 106
- Veselinda	43, 106
wzrost biomasy	36
zagęszczanie osadu	23
zagniwanie ścieków	19
zanieczyszczenia nierozpuszczone.....	98, 107
- rozpuszczone	98, 107
zawiesina	98
- mineralna	96
- organiczna	97
zmętnienie ścieków	23
znacznik	58
związki amonowe	123
- azotowe	8, 38
- biogenne	16
- fosforowe	8, 38
- łatwo rozkładalne	95
- nieorganiczne	11
- nierozkładalne	95
- nierozpuszczone	95
- organiczne	8, 11, 14, 38, 97, 123
- rozkładalne	95
- rozpuszczone	95
- wolno rozkładalne	95

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