

**Bartosz SZELAĞ, Jan STUDZIŃSKI, Aleksandra DAMS**

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA W KIELCACH  
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK  
PRZEDSIĘBIORSTWO INŻYNIERII ŚRODOWISKA EKOWODROL W KOSZALINIE

## **WYKORZYSTANIE MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO DO POPRAWY SEDYMENTACJI OSADU CZYNNEGO I JAKOŚCI ŚCIEKÓW NA ODPŁYWIE Z OCZYSZCZALNI – STUDIUM PRZYPADKU**

### **THE USE OF MATHEMATICAL MODELLING TO IMPROVE THE SEDIMENTATION OF ACTIVATED SLUDGE AND THE QUALITY OF WASTE WATER AT THE OUTFLOW FROM THE WASTEWATER TREATMENT PLANT - CASE STUDY**

An important feature of the activated sludge is the formation of flocs, which are separated from the sewage in the secondary settling tanks by a sedimentation process. Filiform thread bacteria are an important component of flocs. Excessive growth of thread bacteria leads to a deterioration of the sedimentation capacity of the activated sludge and, consequently, of the quality of sewage at the outflow from the treatment plant. To avoid these problems, mathematical models are implemented at wastewater treatment plants to forecast the sedimentation capacity of the sludge. Although the models developed have satisfactory predictive capabilities and can be used to adjust reactor parameters to improve sludge precipitation, they take limited account of other processes that occur in wastewater treatment plants. In engineering practice, this is very important, as the analysis of sedimentation capacity alone is not a direct measure of the efficiency of a treatment plant. It is necessary to control and maintain within an appropriate range the values of technological parameters determining the course of processes of removal of organic compounds and nitrogen. To this end, it is necessary to integrate mathematical models for the simultaneous modelling of activated sludge sedimentation and sewage quality indicators.

Physical models are used to model the quality of wastewater at the WWTP outflow, based on differential equation systems and describing biochemical transformations taking place in the activated sludge and in individual WWTP objects. However, they require the identification of many coefficients, their calibration is complex and the results of their simulation are not always satisfactory. Therefore, black box models are used to forecast the effectiveness of reducing organic compounds, nitrogen and phosphorus and to model the precipitation of activated sludge in the plant, including the methods of neural networks, machine teaching, regression trees, fuzzy logic, etc. Classification models can also be used to model sludge sedimentation.

The article uses logit, probit and Gompertz models to forecast the sedimentation of active sediments. On the other hand, models of neural networks of the multilayer perceptron type have been developed for the forecasting of sewage quality indicators at sewage outflows from treatment plant. The article also includes the possibility to control the substrate load and the age of sludge, which is important for the course of the sewage treatment process.

The calculations were based on data from an urban wastewater treatment plant with a capacity of 72,000 m<sup>3</sup>/day and a load equivalent to 275,000 ENI. As part of the monitoring carried out at the plant, the quality of sewage is measured (biological and chemical demand for oxygen, ammonium nitrogen, total nitrogen, suspended solids, total phosphorus) no less than 5 times a month at the inflow and outflow of the plant. At the same time, on-line measurements are carried out of the volume of inflow wastewater and the parameters of the biological reactor (pH, sediment temperature, oxygen concentration, active sediment concentration, recirculation rate, amount of outflow of excessive sediments, amount of PIX dosed).

The calculation scheme of the mathematical model for the control of sludge sedimentation, effluent quality at the outflow and operational parameters of the activated sludge chambers is as follows: for preliminary parameters of activated sludge chambers, calculations are made of values of sewage quality indicators at the inflow and sludge concentration; then the substrate load and sludge age are determined in order to assess the correctness of the process of removing nitrogen compounds from the sludge; in turn, the sludge sedimentation capacity  $p$  is identified with the use of a developed logit model; when the calculated value of  $p$  indicates the swelling of sediment ( $p > 0.5$ ), the active sediment concentration is corrected by changing the reactor parameters so that the sediment age is not less than 10 days and the substrate load is neither too high nor too low, which could lead to problems with the removal of nitrogen compounds and deteriorate the sedimentation of the active sediment. On the basis of the presented algorithm, the parameters of a biological reactor were corrected on independent data covering 10 measurement points.

The studies showed that the best results of calculations of sewage quality indicators are obtained by the method of cascading neural networks, while the highest compliance of sedimentation measurement results with measurement data is obtained by means of the logit model. The simulation results showed that it is possible to adjust the reactor settings at the same time in order to obtain a satisfactory quality of sewage at the plant outlet, taking into account the different sedimentation capacity of the sludge in the bioreactor. Integration of the sludge precipitation simulation model with the wastewater quality prognosis model will facilitate the control of the technological process and improve the efficiency of the sewage treatment plant.

Istotną cechą osadu czynnego jest formowanie kłaczków, które w osadniku wtórnym oddzielane są od ścieków w procesie sedymentacji. Istotnym składnikiem kłaczków są bakterie nitkowate. Nadmierny rozwój bakterii nitkowatych prowadzi do pogorszenia zdolności sedymentacyjnych osadu czynnego i w konsekwencji jakości ścieków na odpływie z oczyszczalni. Aby uniknąć tych problemów na oczyszczalniach ścieków wdrażane są modele matematyczne pozwalające na prognozowanie zdolności osadu do sedymentacji. Mimo tego, że opracowane modele charakteryzują się zadowalającymi zdolnościami predykcyjnymi i mogą być wykorzystane do korekty parametrów reaktora w celu poprawy opadalności osadu, to w ograniczonym stopniu uwzględniają pozostałe procesy, jakie zachodzą na oczyszczalni ścieków. W praktyce inżynierskiej jest to bardzo istotne, ponieważ sama analiza zdolności sedymentacyjnych osadu nie jest bezpośrednio miarą efektywności funkcjonowania oczyszczalni. Konieczna jest kontrola i utrzymanie w odpowiednim zakresie wartości parametrów technologicznych determinujących przebieg procesów usuwania związków organicznych i azotu. W tym celu konieczne jest zintegrowanie modeli matematycznych do jednoczesnego modelowania sedymentacji osadu czynnego oraz wskaźników jakości ścieków. Do modelowania jakości ścieków na odpływie z oczyszczalni stosowane są modele fizykalne opierające się o układy równań różniczkowych i opisujące przemiany biochemiczne zachodzące w osadzie czynnym i poszczególnych obiektach oczyszczalni. Jednak wymagają one identyfikacji wielu współczynników, ich kalibracja jest złożona i otrzymane przy ich pomocy wyniki symulacji nie zawsze są zadowalające. Dlatego do prognozowania efektywności redukcji związków organicznych, azotu i fosforu oraz modelowania opadalności osadu czynnego w oczyszczalni stosuje się modele typu czarnej skrzynki, do których zaliczamy metody sieci neuronowych, uczenia maszynowego, drzew regresyjnych, logiki rozmytej itp. Do modelowania sedymentacji osadu można również stosować modele klasyfikacyjne. W artykule do prognozy sedymentacji osadu czynnego wykorzystano modele logitowy, probitowy i Gompertza. Z kolei do prognozy wskaźników jakości ścieków na odpływie z oczyszczalni opracowano modele sieci neuronowych typu perceptron wielowarstwowy. W artykule uwzględniono także możliwość kontroli obciążenia substratowego i wieku osadu, co ma istotne znaczenie dla przebiegu procesu oczyszczania ścieków. W obliczeniach wykorzystano dane pochodzące z komunalnej oczyszczalni ścieków o przepustowości 72.000 m<sup>3</sup>/d i obciążeniu ładunkiem równoważnym 275.000 RLM. W ramach monitoringu prowadzonego na oczyszczalni prowadzone są pomiary jakości ścieków (biologiczne i chemiczne zapotrzebowanie na tlen, azot amonowy, azot ogólny, zawiesina, fosfor ogólny) nie mniej, niż 5 razy w miesiącu na dopływie i odpływie z oczyszczalni. Równocześnie są prowadzone pomiary on-line ilości ścieków dopływających oraz parametrów działania reaktora biologicznego (pH, temperatura osadu, stężenie tlenu, stężenie osadu czynnego, stopień recyrkulacji, ilość odprowadzanych osadów nadmiernych, ilość dawkowanego PIX). Schemat obliczeniowy modelu matematycznego do kontroli sedymentacji, jakości ścieków na odpływie i parametrów operacyjnych komór osadu czynnego jest pokazany na rysunku. W oparciu o przedstawiony algorytm realizowano korektę parametrów działania reaktora biologicznego na niezależnych danych obejmujących 10 punktów pomiarowych.

