



# ZASTOSOWANIE SIECI NEURONOWYCH W MODELOWANIU JAKOŚCI POWSTAJĄCYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH

J. Jabłońska<sup>1</sup>, M. Hyrycz<sup>1,2</sup>, M. Ochowiak<sup>1</sup>

1) Zakład Inżynierii i Aparatury Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

2) Aquanet S.A., Poznań

e-mail: [marek.ochowiak@put.poznan.pl](mailto:marek.ochowiak@put.poznan.pl)



**Koło Naukowe  
Inżynierii Środowiska**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

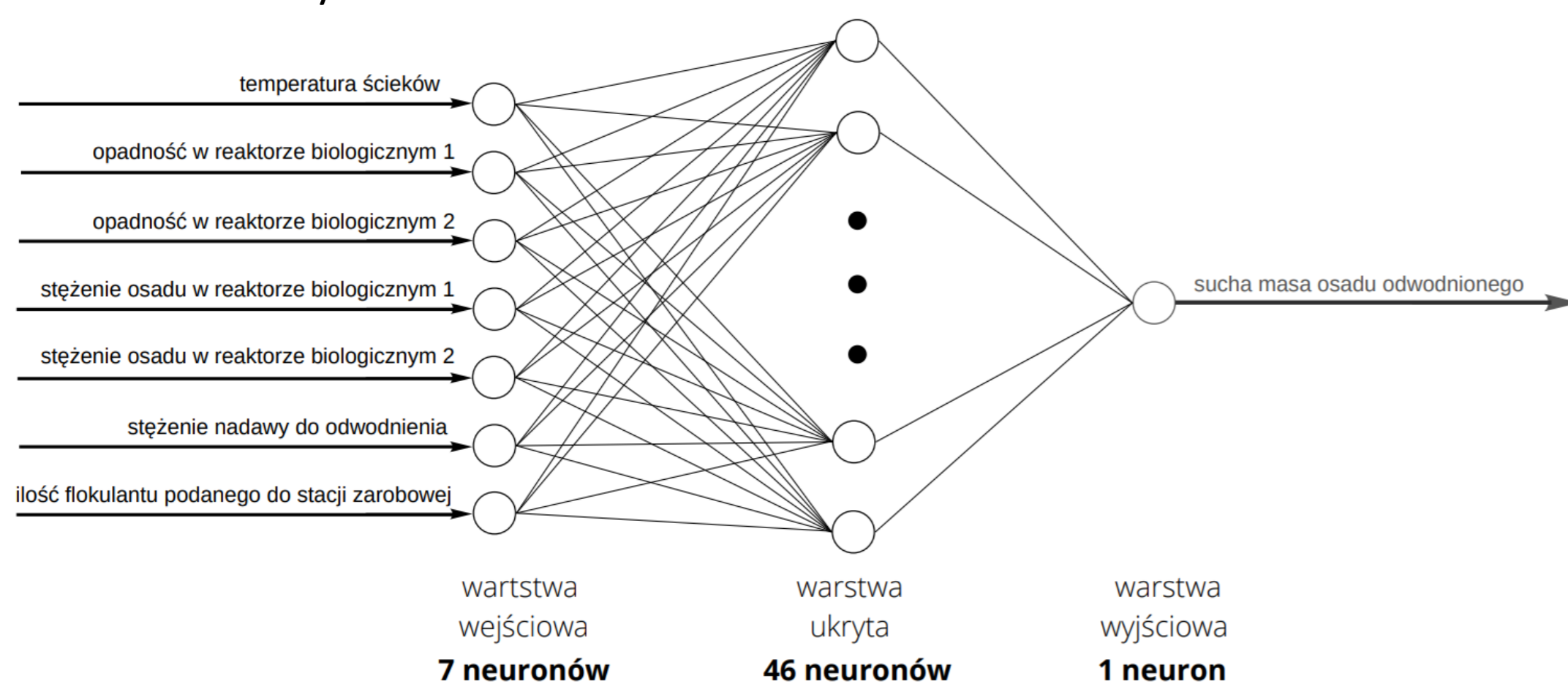


**Międzynarodowe Sympozjum  
im. Bolesława Krzysztofika AQUA**

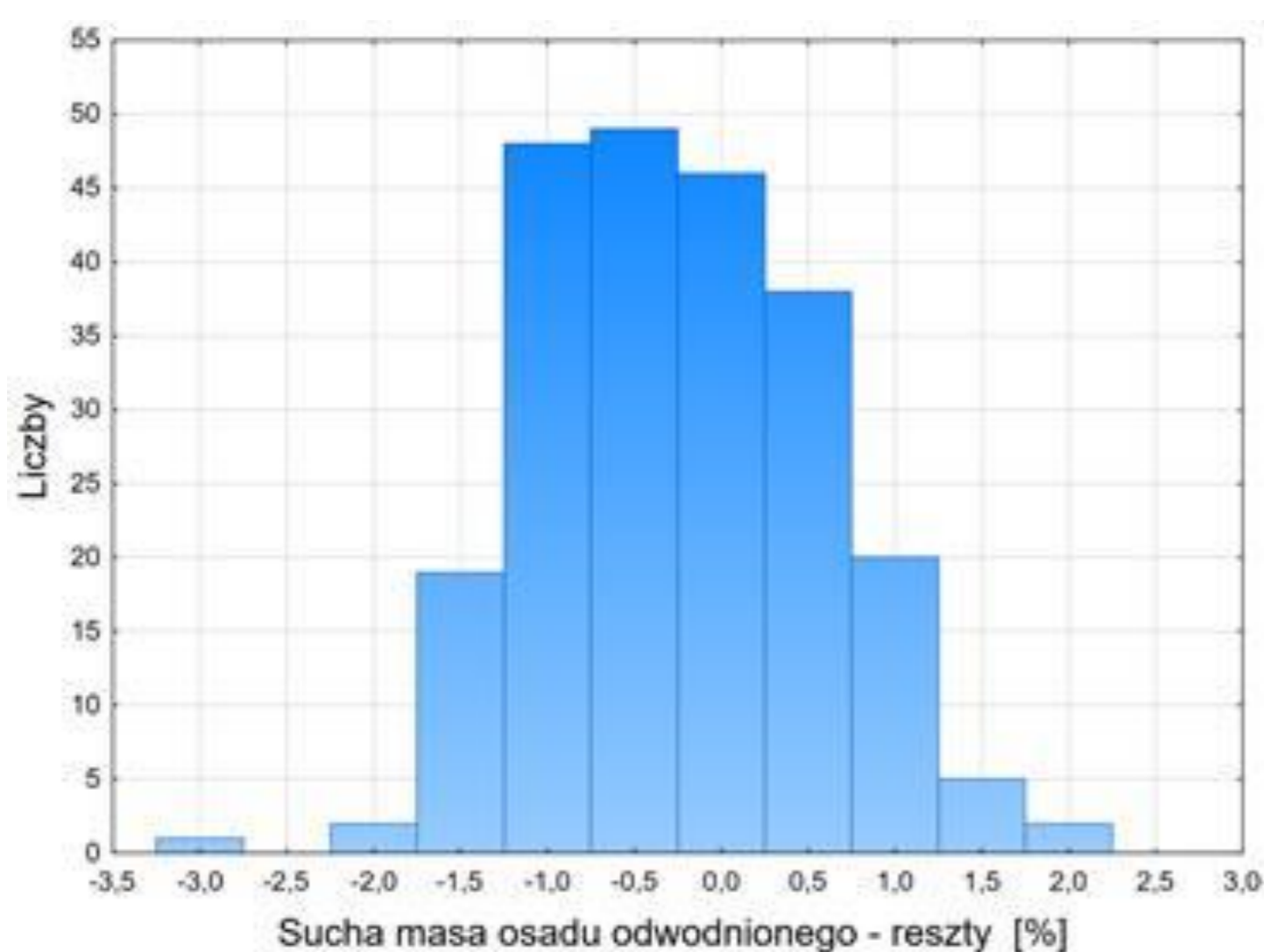
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Sztuczne sieci neuronowe (SSN) to modele obliczeniowe inspirowane działaniem i strukturą ludzkiego mózgu. Są one podzbiorem algorytmów uczenia maszynowego zaprojektowanych do rozpoznawania wzorców, uczenia się na podstawie danych i przewidywania lub podejmowania decyzji. Sieć neuronowa składa się z połączonych ze sobą neuronów, które zorganizowane w warstwy, zazwyczaj składające się z warstwy wejściowej, jednej lub więcej warstw ukrytych i warstwy wyjściowej. Każdy neuron odbiera sygnały wejściowe, wykonuje obliczenia i generuje sygnał wyjściowy, który jest następnie przekazywany do następnej warstwy. Sygnały wejściowe mają przypisane sobie wagi. Podczas uczenia sieć dostosowuje wagi w oparciu o dane wejściowe i pożądane dane wyjściowe, wykorzystując algorytmy uczenia. Sieci neuronowe mogą być wykorzystywane do szerokiego zakresu zadań, w których celem jest predykcja, klasyfikacja i rozpoznawanie, analiza danych lub optymalizacja. Sztuczne sieci neuronowe są one zdolne do rozwiązywania złożonych zadań, bez wcześniejszego określania zależności między podanymi parametrami.

Procesy zachodzące w oczyszczalniach ścieków są złożone i zależą od wielu zmiennych. Przeprowadzono badania, których celem było zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu jakości powstających osadów ściekowych. Projekt sieci został wykonany w programie Statistica Sieci Neuronowe firmy StatSoft.



Rys. 1. Struktura sieci neuronowej.



Rys. 2. Histogram rozkładu reszt sieci neuronowej MLP 7-46-1.

Sieć neuronowa została zaprojektowana wykorzystując dane procesu funkcjonującej oczyszczalni ścieków z przedziału czasu od października 2016 do września 2022. Liczba punktów pomiarowych w zbiorze danych wynosiła 1158. Jako sygnał wyjściowy projektowanej sieci określono suchą masę osadu odwodnionego. Parametr ten odgrywa istotną rolę w procesie oczyszczania ścieków. Znajomość wpływu pozostałych parametrów procesu na suchą masę uzyskanego osadu odwodnionego umożliwiła optymalizację procesu oczyszczania, poprawę ogólnej wydajności systemu i zminimalizowanie kosztów operacyjnych.

Określono następujące ilościowe sygnały wejściowe projektowanej sieci: temperatura ścieków ( $T$ ), opadność w reaktorach biologicznych ( $O_{RB1}, O_{RB2}$ ), stężenie osadu w reaktorach biologicznych ( $C_{RB1}, C_{RB2}$ ), stężenie nadawy do odwodnienia ( $C_N$ ), ilość flokulantu podanego do stacji zarobowej ( $m_F$ ). Celem zwiększenia zdolności sieci do uogólniania danych oraz wstępnej walidacji zaprojektowanej sieci, sygnały wejściowe zostały podzielone na trzy zbiory: uczący (80 %), walidacyjny (10 %), testowy (10 %).

Podczas modelowania neuronowego dążono do otrzymania możliwie najniższych wartości błędu testowania i błędu walidacji. W rezultacie otrzymano trójwarstwową sieć neuronową typu MLP (perceptron wielowarstwowy) zbudowaną z 7 neuronów w warstwie wejściowej, 46 neuronów w warstwie ukrytej oraz 1 neuronu w warstwie wyjściowej (rysunek 1). Nazwa powyżej opisanej sieci to MLP 7-46-1. Algorytm uczenia to BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno). Funkcją aktywacji w warstwie ukrytej oraz w warstwie wyjściowej jest funkcja logistyczna. Błąd uczenia, błąd testowania oraz błąd walidacji otrzymanej sieci wynosiły odpowiednio: 4,15 %; 0,31 %; 0,32 %.

Na rysunku 2 został przedstawiony histogram rozkładu reszt (różnic między danymi doświadczalnymi oraz predykcją sieci neuronowej). Mają one rozkład normalny wokół zera. Wartości reszt mieszczą się w zakresie od -3 do 2. Rozrzut danych jest niewielki. Zaprojektowana sieć neuronowa MLP 7-46-1 jest w stanie przewidzieć z zadawalającą dokładnością wartości suchej masy osadu odwodnionego, na podstawie danych wejściowych.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że sztuczne sieci neuronowe mogą znaleźć zastosowanie praktyczne w modelowaniu jakości powstających osadów ściekowych. Zaprojektowana sieć jest w stanie wyznaczyć z zadawalającą dokładnością suchą masę osadu odwodnionego. Możliwość predykcji tego parametru pozwala na optymalizację procesu oraz zmniejszenie kosztów operacyjnych.

## PODZIĘKOWANIA

*Badania przeprowadzono w ramach programu SBAD  
Ministerstwa Edukacji i Nauki.*

Badania zostały przeprowadzone w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy Ministerstwa Edukacji i Nauki realizowanego w latach 2020-2024 (Umowa nr DWD/4/23/2020)



**Zapraszamy na 4 Seminarium  
Praktyczne Aspekty Inżynierii Chemicznej PAIC 2024  
16-17 Maja 2024, Zaniemyśl, Polska**

<http://paic.put.poznan.pl>