

STANISŁAW MASIUK
 RAFAŁ RAKOCZY
 MARIAN KORDAS

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Analiza procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem modelu opartego na technice sztucznych sieci neuronowych

Wprowadzenie

Wykorzystanie metod i technik sztucznej inteligencji w praktyce przemysłowej ma głównie na celu modyfikację oraz zoptymalizowanie przeprowadzanych operacji technologicznych. Przemysłowe zastosowanie różnego typu urządzeń wiąże się z występowaniem skomplikowanych zależności pomiędzy wielkościami charakterystycznymi oraz warunkami operacyjnymi a wielowymiarową analizą problemu. W ostatnich latach złożone zachowanie się biologicznych, chemicznych lub przemysłowych systemów jest wyznaczane z wykorzystaniem analizy dynamicznej lub komputerowego modelowania [1]. Modelowanie typu *czarnej skrzynki* lub korelacji empirycznej może definiować zachowanie się systemu, lecz tego typu podejście niesie pewne ograniczenia [2]. Wymagane jest założenie analitycznej formy zależności aproksymującej dane eksperymentalne [3]. Popularnym podejściem do analizy zjawisk nieliniowych jest zastosowanie sztucznych sieci neuronowych, czerpiących inspirację z sieci neuronów znajdujących się w ludzkim mózgu [4].

Prezentowana praca jest próbą wykorzystania techniki sztucznych sieci neuronowych w analizie procesu oczyszczania ścieków przemysłowych, będących skutkiem ubocznym produkcji energii elektrycznej przez tradycyjną elektrownię węglową zlokalizowaną w północno-zachodnim regionie Polski. Znaczącą zaletą proponowanego modelowania, opartego na technice sztucznych sieci neuronowych, jest znaczne zredukowanie czasu prowadzenia obliczeń symulacyjnych w porównaniu z klasycznym opisem matematycznym oraz możliwość bieżącej kontroli i maksymalizowania efektywności prowadzonego procesu produkcji energii elektrycznej przy zminimalizowaniu zanieczyszczeń odprowadzonych do środowiska naturalnego.

Dane doświadczalne

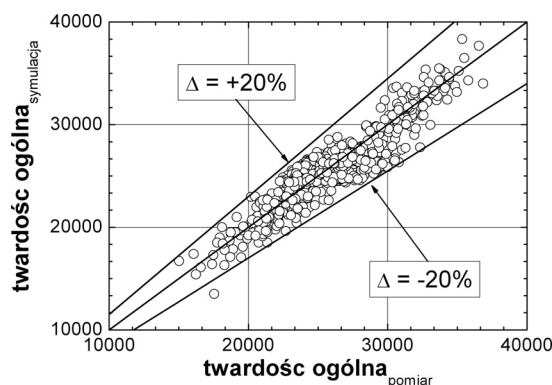
Eksperymentalna baza danych, składająca się z wartości stężeń różnego typu związków i parametrów fizykochemicznych w ścieku surowym i oczyszczonym, została uzyskana z funkcjonującej elektrowni węglowej. Proces usuwania zanieczyszczeń przemysłowych w wodach odpadowych w tej elektrowni jest realizowany poprzez biologiczne oczyszczanie ścieków. W przypadku rozważanego procesu ściek wejściowy był charakteryzowany przez następujące parametry: stężenie cząstek ciała stałego, gęstość ścieku, temperatura, pH, stężenie jonów Ca^{2+} , natomiast w ścieku wyjściowych określano: zawartość zawiesiny, temperaturę, pH, stężenie jonów Cl^- ,

SO_4^{2-} ; twardość ogólną, wapniową i magnezową. W niniejszej pracy wykorzystano wieloletnią bazę danych doświadczalnych, obejmującą około 5000 wartości dla poszczególnych parametrów.

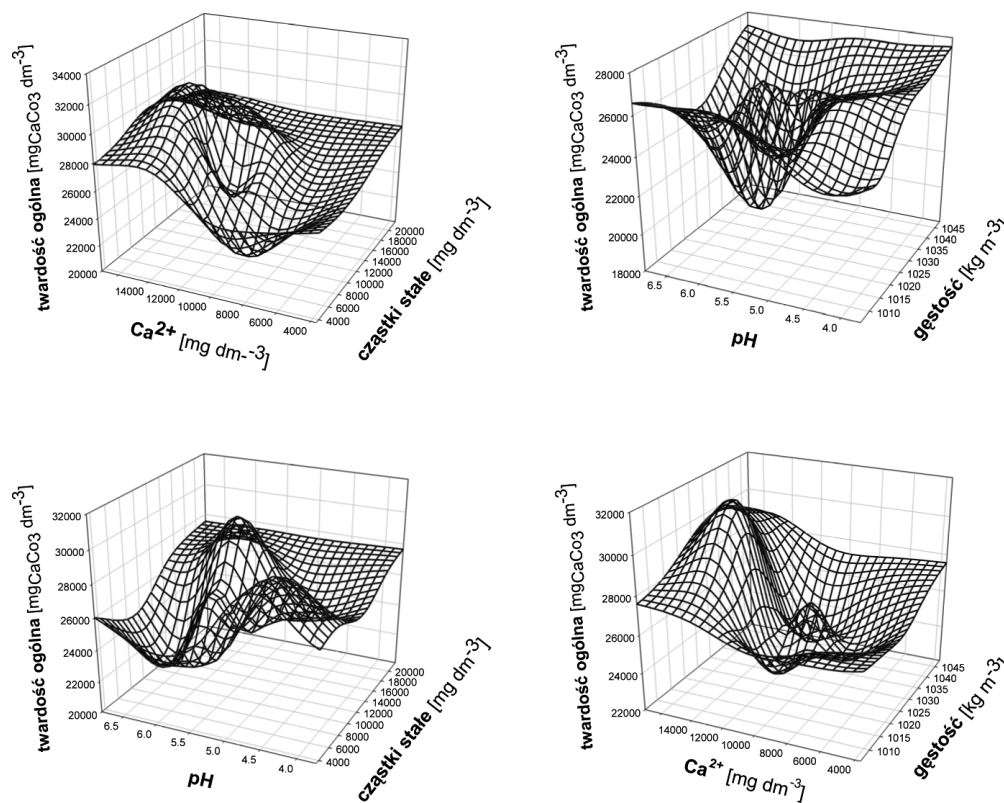
Dyskusja wyników

Obszerność eksperymentalnej bazy danych pozwala na zastosowanie techniki sztucznych sieci neuronowych do modelowania skomplikowanych zjawisk zachodzących podczas biologicznego oczyszczania ścieków. Przez wiele lat powszechnie stosowaną techniką do matematycznego opisu tego typu procesów było modelowanie liniowe. Takie postępowanie jest popularne obecnie, ze względu na dość dobrze poznaną strategię optymalizacji, stosowaną przy konstrukcji modeli tego typu.

Metody analizy zjawisk wnioskowania i podejmowania decyzji w strukturach neuronowych mózgu doprowadziły do dynamicznego rozwoju zastosowań oprogramowania komputerowego wykorzystującego tego typu metody w obszarach zarezerwowanych dla inżynierii procesowej oraz ochrony środowiska. Metody analizy z wykorzystaniem techniki sztucznych sieci neuronowych znajdują zastosowanie w modelowaniu różnorodnych zjawisk, również charakteryzujących się silną nieliniowością oraz nieciągłością. Procesy biochemiczne zachodzące podczas oczyszczania ścieków przemysłowych mają bardzo złożoną naturę, a zależności typu wejście-wyjście są niemożliwe do opisanie klasycznymi metodami analitycznymi. W takim przypadku z powodzeniem mogą być wykorzystane metody regresyjne, które aproksymują funkcjonalną więź pomiędzy wejściowymi zmiennymi niezależnymi i obserwowanymi wielkościami wyjściowymi. W przypadku niniejszej pracy zdecydowano się potraktować: stężenie cząstek



Rys. 1. Graficzne porównanie wartości twardości ogólnej uzyskanych doświadczalnie oraz symulacyjnie



Rys. 2. Przykładowe trójwymiarowe wykresy przedstawiające wyniki przeprowadzanej symulacji z wykorzystaniem sieci neuronowej

ciała stałego, gęstość ścieku, pH i stężenie jonów Ca^{2+} , jako zmienne wejściowe do sieci neuronowej oraz twardość ogólną, jako zmienną obserwowaną. Symulacje przeprowadzono wykorzystując moduł *Neural Networks* programu *Statistica*. Przeprowadzona analiza wykazała, że parametr wyjściowy może być aproksymowany z wykorzystaniem sieci neuronowej o radialnych funkcjach bazowych (RBF). Sieć tego typu składa się z trzech warstw: wejściowej, ukrytej oraz wyjściowej. Warstwa ukryta zawiera neurony radialne, z których każdy modeluje gaussofską powierzchnię odpowiedzi oraz charakteryzuje się silną nieliniowością. W warstwie ukrytej sieci wybranej sieci neuronowej znajdowało się 497 neuronów. Zaproponowana sieć była trenowana z wykorzystaniem metody *sub-sample*. Wyjściem sieci neuronowej jest ważona suma odpowiedzi warstwy ukrytej w następującej postaci:

$$f(x) = \sum_{j=0}^K w_{ij} \Phi_i(\|x - x_c\|) \quad (1)$$

gdzie:

- $f(x)$ – odpowiedź j -tego węzła,
- Φ – jest funkcją *Gausssa*,
- x_c – jest centralną wartością j -tego węzła,
- K – jest całkowitą liczbą ukrytych węzłów,
- w_{ij} – jest wagą odpowiadającą dla konkretnego węzła.

Na rys. 1 przedstawiono graficzne porównanie wartości twardości ogólnej uzyskanych doświadczalnie oraz symulacyjnie przy wykorzystaniu techniki sztucznych sieci neuronowych. Jak wynika z rys. 1, wytrenowana sieć neuronowa aproksymuje wartości twardości wody przy szerokim zakresie zmian parametrów wejściowych z błędem wynoszącym około 20%. Sugeruje to, że proponowane podejście w oparciu o technikę sztucznych sieci neuronowych może być z powodzeniem

wykorzystywane w praktyce przemysłowej, do zgrubnej oceny wpływu parametrów wejściowych, zarejestrowanych w ścieku wejściowym do oczyszczalni, na parametry wyjściowe. Umożliwia to przeprowadzenie analizy symulacyjnej, która może być z powodzeniem wykorzystana w poszukiwaniu optymalnych warunków prowadzenia procesu oczyszczania ścieków przemysłowych z elektrowni węglowej.

Praktyczne wykorzystanie wyników otrzymanej symulacji polega na przeanalizowaniu wpływu poszczególnych parametrów ścieku wejściowego na otrzymane wyniki twardości ogólnej, określanej w ścieku wyjściowym. Dyskusję otrzymanych wyników wygodnie jest przeprowadzić na podstawie trójwymiarowych wykresów, przedstawiających wpływ szerokiego zakresu wartości dla parametrów wejściowych na parametr wyjściowy.

Przykładowe wyniki zostały przedstawione na rys. 2.

Rys. 2 przedstawia efekt wybranych parametrów na twardość ogólną, charakteryzującą oczyszczony ściek przemysłowy. Uzyskane odpowiedzi sieci neuronowej cechują się silną nieliniowością, co jest typowe dla procesów realizowanych z żywymi mikroorganizmami. Tradycyjne podejście, bazujące na modelowaniu typu *czarna skrzynka* lub korelacji empirycznej może definiować zachowanie się systemu, lecz tego typu podejście niesie pewne ograniczenia [5]. Wymagane jest założenie analitycznej formy zależności aproksymującej dane eksperymentalne.

Prezentowany model, wykorzystujący technikę sztucznych sieci neuronowych, umożliwia prognozowanie wartości określonej zmiennej, zależnej od pewnych wielkości niezależnych. Zaprezentowana analiza pozwala podkreślić potencjalne wykorzystanie techniki sztucznych sieci neuronowych, jako wysoko efektywnego narzędzia do predykcji wartości twardości ogólnej w oczyszczonym ścieku. W oparciu o eksperymentalną bazę danych, opracowano model bazujący na radialnych funkcjach bazowych, który w zadowalający sposób aproksymuje dane eksperymentalne w dziedzinie parametrów operacyjnych, a zaproponowana metoda analizy może być traktowana jako alternatywna metoda modelowania realnie funkcjonującej oczyszczalni ścieków.

LITERATURA

1. L. Rutkowski: Metody i techniki sztucznej inteligencji, PWN, Warszawa (2005).
2. S. Masiuk, R. Rakoczy, V. Mizonov: Chem. Eng. J. **131**, 283 (2007).
3. S. Masiuk, R. Rakoczy, M. Kordas: Biochem. Eng. J. **40**, 79 (2008).
4. R. Kosiński: Sztuczne sieci neuronowe. Dynamika nieliniowa i chaos, WNT, Warszawa (2004).
5. S. Masiuk, J. Kawecka-Typek: Chem. Eng. Process. **143**, 91 (2004).