

Joanna Grabska-Chrzastowska*

Próba neuronowego modelowania zawartości radioaktywnego kobaltu w zależności od składu chemicznego wody w reaktorze jądrowym**

1. Wprowadzenie

Jednym z bardzo interesujących zagadnień nurtujących służby ochrony radiologicznej w elektrowniach jądrowych jest osadzanie się w komponentach systemów operacyjnych (np. rurociągach, wymiennikach ciepła, pompach itp.) radioaktywnych pierwiastków. Pierwiastki te pochodzą z zanieczyszczeń, które osadzają się na prętach paliwowych. Zadaniem służb chemicznych takiej elektrowni jest zapobieganie nadmiernemu przyrostowi tych pierwiastków poprzez stosowanie różnych środowisk chemicznych w reaktorze. Ponieważ jednak liczba czynników, które mają wpływ na osadzanie się pierwiastków promieniotwórczych jest duża, nie można stwierdzić, jaka metoda jest najlepsza.

Przy silnie nieliniowych zależnościach między elementami procesu i braku jednoznacznej koncepcji wyboru znaczących parametrów zdecydowano o wykorzystaniu sieci neuronowych [1] w celu stworzenia koncepcji modelu.

Przyjęto wstępne założenie, że największy wpływ na zawartość jednego wybranego pierwiastka promieniotwórczego – ^{60}Co (izotopu kobaltu o liczbie masowej 60) w danym dniu, ma wpływ zawartość pięciu metali znajdujących się w wodzie chłodzącej reaktor, mierzona w tym samym dniu. Przy pomocy symulatora sztucznych sieci neuronowych przeprowadzono szereg eksperymentów mających na celu znalezienie najlepszej sieci dla uproszczonej sytuacji modelowej. A następnie, na podstawie otrzymanych wyników wyciągnięto wnioski dotyczące jakości otrzymanych sieci.

Stwierdzono, że przydatność prostego modelu zakładającego zależność zawartości ^{60}Co od zawartości pięciu metali w wodzie reaktora w danym dniu jest niewielka. Wprowadzenie na wejście sieci większej liczby elementów uwzględniającej poprzednie dwa pomiary z historii procesu (model trzydniowy) zwiększa liczbę poprawnie przewidywanych wartości.

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

** Pracę sfinansowano z funduszu badań własnych (umowa AGH nr 10.10.120.783)

W wyniku analizy otrzymanych wyników do wejść sieci dodano dodatkowy parametr uwzględniający czasową zależność mierzonych danych. W pierwszej kolejności każdy element zbioru uczącego otrzymał swój kolejny numer (1–454) zależny od chronologii pomiarów. Znacząco lepsze wyniki eksperymentu pozwoliły wprowadzić na wejście sieci liczby będącej kodem daty pomiaru, co uniezależniło model od odstępu w czasie rozdzielającego wprowadzone dane. Otrzymano bardzo dobre wyniki regresji i korelacji dla wynikowego modelu. Niestety, tak skonstruowany model ma ograniczone znaczenie praktyczne. Predykcja zawartości promieniotwórczego kobaltu w zależności od daty pomiaru i zmierzonej zawartości pięciu metali w wodzie nie stanowi zasadniczego celu modelowania. Jednakże świadczy o ogromnej roli historii pomiarów w konstrukcji modelu.

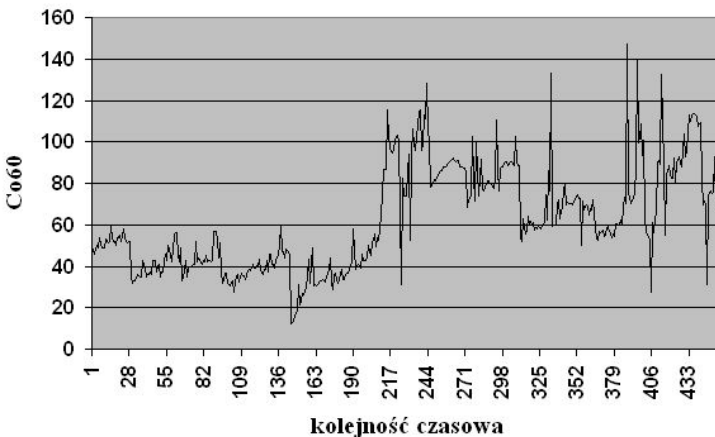
Stwierdzenie wpływu zawartości poszczególnych metali na pojawianie się pierwiastków promieniotwórczych w wodzie reaktora nie jest przedmiotem tego opracowania i wymaga przeprowadzenia jeszcze wielu dodatkowych badań.

Wszystkie przeprowadzone eksperymenty neuronowe wykonano za pomocą programu Statistica firmy StatSoft [2]. Używano modułu automatycznego projektanta, który z 200 przebadanych sieci uczonych metodą wstecznej propagacji błędów wybiera sieć o najlepszych wynikach przystosowania do zadanych sterowań.

Dziękuję firmie Energy Solutions AB i Panu Szymonowi Duńcowi za udostępnienie wstępnych danych do przetwarzania.

2. Opis danych pomiarowych

Wybrano pięć metali: Co (kobalt), Fe (żelazo), Ni (nikiel), Cr (chrom) i Zn (cynk), których obecność w wodzie reaktora może wpływać na zawartość radioaktywnego pierwiastka ^{60}Co . Wykres wartości funkcji, które należy zamodelować, przedstawiono na rysunku 1. We wstępnym etapie badań dysponowano pomiarami dokonanymi na przestrzeni 10 lat (1997–2007).



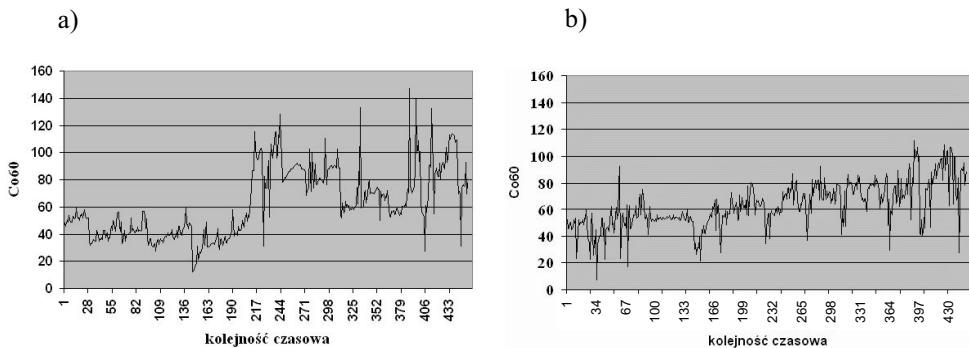
Rys. 1. Oczekiwana zależność ^{60}Co na wyjściu modelu (wszystkie wartości podzielone przez 100 tys.)

3. Opis otrzymanych modeli neuronowych

Na podstawie zawartości w wodzie reaktora w danym dniu pięciu wymienionych w rozdziale 2 metali próbowano zamodelować występowanie w tym dniu radioaktywnego kobaltu. W zbiorze uczącym znalazło się 113 wyników pomiarów, a zbiorze walidacyjnym i testowym odpowiednio 114 i 113 danych.

W wyniku szeregu doświadczeń znaleziono sieć o najlepszej jakości i strukturze 5-8-4-1, czyli o pięciu wartościach na wejściu sieci, ośmiu w pierwszej warstwie ukrytej, czterech w drugiej i jednej wartości na wyjściu.

Na rysunku 2b przedstawiono otrzymany wykres. Średnia błędów oceny parametru ^{60}Co wyniosła 27,7%.

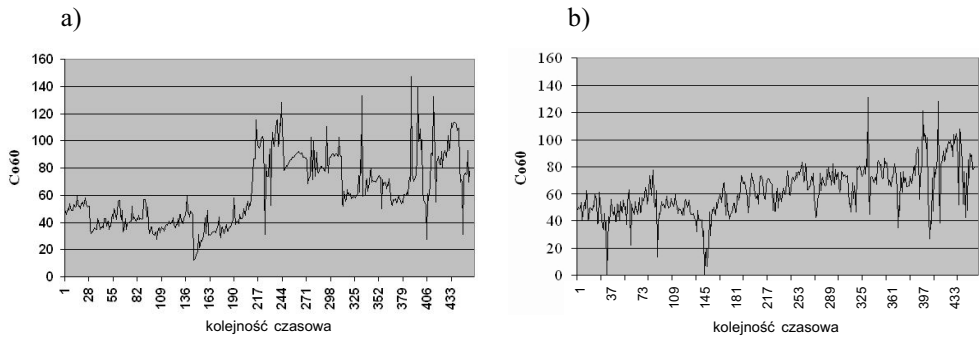


Rys. 2. Porównanie wyników modelowania. Wartości promieniotwórczego kobaltu ^{60}Co
a) oczekiwane; b) otrzymane w jednodniowym modelu

W związku z tym, że wynik otrzymany na podstawie jednodniowego modelu nie był zadowalający, ponowiono próby wykorzystujące dwa wcześniejsze pomiary poprzedzające pomiar ^{60}Co , czyli na wejście sieci wprowadzono kolejne trzy pomiary (15 wartości), a na wyjście – wynik pomiaru ^{60}Co wykonany równoległe z trzecim pomiarem.

Sieć o strukturze 15-13-7-1 aproksymowała zadane wartości z błędem 25,2% (otrzymany wykres pokazano na rys. 3b). Biorąc pod uwagę, że liczba czynników wpływająca na zawartość promieniotwórczego kobaltu w wodzie jest dużo większa, to i tak otrzymany wynik jest dość dobry.

Wprowadzenie na wejście sieci 25 elementów, czyli pięciu kolejnych pomiarów z dostępnych danych, nie przyniosło już poprawy wyników (tab. 1). Prawdopodobnie liczba elementów zbioru uczącego dla tak rozbudowanej struktury (25-20-5-1) okazała się niewystarczająca.



Rys. 3. Porównanie wyników modelowania. Wartości promieniotwórczego kobaltu ^{60}Co
a) oczekiwane; b) otrzymane w trzydniowym modelu

Tabela 1
Zbiorcze wyniki modelowania ^{60}Co

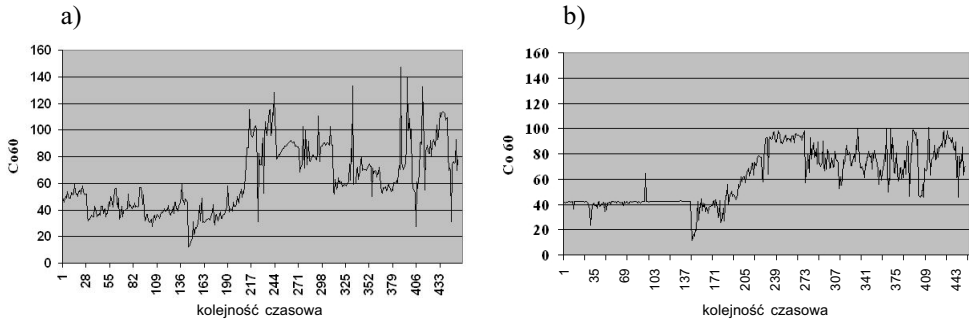
Błąd	Wejście sieci				
	pięć metali w jednym dniu (5 wejść)	pięć metali w trzech dniach pomiarowych (15 wejść)	pięć metali w pięciu dniach pomiarowych (25 wejść)	pięć metali w jednym dniu + kolejność (6 wejść)	pięć metali w jednym dniu + data pomiaru (6 wejść)
Średni [%]	27,7	25,2	27,5	15,4	15
Liczba błędów > 100%	6	5	10	2	2
Liczba błędów > 50%	73	60	65	11	13

4. Wyniki otrzymane przy uwzględnieniu historii pomiarów

Istnieje szereg przesłanek sugerujących związek powstawania promieniotwórczego kobaltu z historią pomiarów, a więc i kolejnością wyników. Ten fakt potwierdził również eksperyment o zasięgu trzech pomiarów wstecz. Zdecydowano więc o dodaniu na wejście sieci dodatkowego parametru sugerującego istotność kolejności uwzględnianych danych pomiarowych. W pierwszych doświadczeniach wprowadzono liczby od 1 do 454. Dla sieci o strukturze 6-8-4-1 otrzymano średni błąd 15,4%. Jest to zdecydowanie lepsze przybliżenie wartości promieniotwórczego kobaltu co również obrazuje wykres na rysunku 4b.

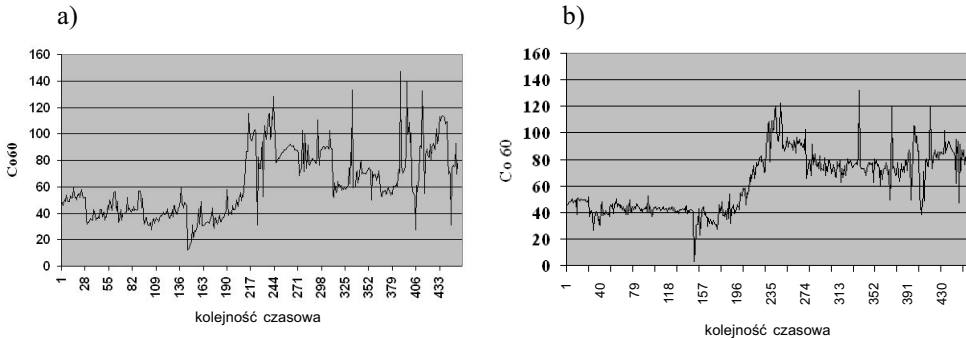
Wyraźnie widoczne jest przejście, po pierwszych około 200 pomiarach, na wyższy poziom wartości wyjściowej, czego poprzednie sieci nie były w stanie uwzględnić. Aby otrzymane powyżej model uzależnić od daty pomiaru, na wejście sieci, zamiast kolejnych liczb naturalnych wprowadzono liczbę oznaczającą datę zarejestrowania danych. Kod liczbowy

danej daty jest liczba otrzymana w arkuszu kalkulacyjnego (Excel) oznaczającą kod liczbowy konkretnej daty. Przykładowo kod daty 5 listopada 1997 roku to liczba 35739, a kod następnego dnia to liczba o 1 większa czyli 35740. Dla wynikowej sieci o strukturze 6-14-6-1 otrzymano nieco mniejszy średni błąd – 15%. Otrzymany wykres przedstawia rysunek 5b. Znacznie lepiej odwzorowany jest oscylacyjny charakter zmian pierwiastka ^{60}Co .



Rys. 4. Porównanie wyników modelowania. Wartości promieniotwórczego kobaltu ^{60}Co
a) oczekiwane; b) otrzymane w modelu z istotną kolejnością pomiarów

Wyniki wszystkich omówionych sieci przedstawiono razem w tabeli 1. Modele uwzględniające kolejność danych poprzez wprowadzenie dodatkowego wejścia do sieci oferują najlepsze przybliżenie zawartości promieniotwórczego pierwiastka ^{60}Co . Jednakże ich przydatność praktyczna jest dużo mniejsza.



Rys. 5. Porównanie wyników modelowania. Wartości promieniotwórczego kobaltu ^{60}Co
a) oczekiwane; b) otrzymane w modelu z datą pomiaru na wejściu sieci

Wykorzystanie modelu zakładającego zależność zawartości ^{60}Co od pięciu metalicznych pierwiastków w wodzie reaktora może polegać na zmianie parametrów wejściowych w ustalony sposób, na przykład zmianie jednego parametru przy ustalonym poziomie pozostałych i obserwowanie zachowania wartości wyjściowej. Dla służb ochrony radiologicznej najważniejsze jest ustalenie stopnia czułości procesu na zmianę parametrów wejściowych.

Model z dodatkowym wejściem w postaci daty zebrania wyników pomiarowych proponuje się wykorzystać, zmieniając w historii pomiarów jeden z parametrów, i przy tak zmienionym wejściu obserwować zachowania modelu.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono próbę zastosowania sieci neuronowej zbudowania modelu zależności pierwiastka promieniotwórczego ^{60}Co od zawartości pięciu metali: Co (kobalt), Fe (żelazo), Ni (nikiel), Cr (chrom) i Zn (cynk). W związku z tym, że istnieją dodatkowe czynniki wpływające na modelowaną wielkość otrzymane wyniki odbiegają znacznie od oczekiwanych wartości. Jednakże średni błąd modelu może być akceptowalny przy próbie wykorzystania modelu do badania czułości procesu na zmianę parametrów. Jednocześnie wykazano, że historia pomiarów ma niezwykle silny wpływ na wartość wyjściową. Stąd model uwzględniający trzydniową historię pomiarów okazał się najbardziej wiarygodny, a model z dodaną datą pomiaru na wejście sieci osiągnął znakomity rezultat 15% średniego błędu.

Przedstawiona praca jest tylko zwiastunem możliwości sieci neuronowych w badaniu procesów zachodzących w elektrowni jądrowej. Przy dysponowaniu większym zbiorem danych i uwzględnieniu innych czynników procesu można by otrzymać rezultaty mające realny wpływ na zmniejszenie skażenia radioaktywnego w pomieszczeniach elektrowni.

Literatura

- [1] Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*. Warszawa, PWN 1993.
- [2] Tadeusiewicz R., Lula P., *Wprowadzenie do sieci neuronowych*, dokumentacja polskiej wersji Statistica Neural Networks, StatSoft 2001.