

ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO OPISU PRZENIKALNOŚCI ELEKTRYCZNEJ MĄKI

Deta Łuczycza

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Katarzyna Pentoś

Instytut Informatyki, Automatyki i Robotyki, Politechnika Wroclawska

Streszczenie. Przenikalność elektryczna mąki zależy w znaczącym stopniu zarówno od jej składu chemicznego jak i granulacji. W pracy przedstawiono etapy tworzenia opartego o sztuczne sieci neuronowe modelu opisującego przenikalność elektryczną mąki w zależności od wyznaczanych dla niej zmiennych niezależnych. Przebadanie wielu różnych architektur sieci, jak również powtarzanie wielokrotnie procesu uczenia zwiększa prawdopodobieństwo wyboru najlepszej sieci dla opisu analizowanych zależności.

Słowa kluczowe: mąka, przenikalność elektryczna, sztuczne sieci neuronowe

Wstęp

W publikacjach z zakresu agrofizyki coraz częściej można spotkać propozycje wykorzystania, do tworzenia modeli empirycznych opisujących zjawiska i procesy, sztucznych sieci neuronowych SSN [Langman 1999; Ślipek i in. 2003]. W tego typu badaniach występuje duża liczba czynników mających w różnym stopniu wpływ na analizowane zależności. Cechy elektryczne materiałów biologicznych w tym na przykład mąki zależą również od wielu właściwości chemicznych i fizycznych materiału badawczego jak i przyjętych warunków pomiaru [Łuczycza 2007]. Sieci neuronowe pozwalają na uzyskanie dobrze weryfikującego się modelu bez konieczności tworzenia teorii opisującej badane zjawiska [Langman 1999].

Sukcesy w zakresie zastosowania SSN w różnorodnych badaniach agrofizycznych [Górski i in. 2008; Hebda, Francik 2006; Złobecki, Francik 2003] uzasadniają podjęcie próby ich wykorzystania do modelowania cech elektrycznych materiałów biologicznych. Jako przykład wykorzystano wyniki badań przenikalności elektrycznej mąki.

Celem pracy było porównanie różnych architektur jednokierunkowych sztucznych sieci neuronowych dla znalezienia optymalnej pozwalającej na uzyskanie maksymalnej dokładności działania sieci pozwalającej na określenie przenikalności elektrycznej na podstawie znajomości jej cech chemicznych, granulacji oraz warunków pomiaru.

Metodyka badań

Dla realizacji założonych celów badawczych przeprowadzono pomiary właściwości chemicznych, oraz przenikalności elektrycznej mąki z pszenicy (Finezja, Zyta) oraz pszenżyta (Finezja, Hewa, Sorrento, Mieszko).

Mąka została rozdzielona na 3 frakcje na sitach o wielkości oczek 150, 95 oraz poniżej 95 μm , badano również właściwości mąki z pełnego przemiału. W otrzymanych próbkach określano takie parametry jak:

- zawartości białka ogółem metodą Kjeldahla,
- zawartości skrobi metodą polarymetryczną Lintnera,
- zawartości glutenu mokrego,
- zawartości popiołu,

Dla przygotowanych próbek mąki (z pełnego przemiału oraz dla 3 frakcji) z pszenicy i pszenżyta została określona przenikalność elektryczna. Pomiary przeprowadzono za pomocą analizatora impedancji (FLUCK) w częstotliwościach pola elektromagnetycznego od 100 Hz do 20 kHz. Zastosowano płaski układ elektrod pomiarowych z elektrodą ochronną. Materiał badawczy umieszczony był w przestrzeni międzyelektrodowej w postaci materiału sypkiego. Badania były prowadzone w komorze klimatyzacyjnej w stałej temperaturze 20°C i przy stałej wilgotności 15% materiału badawczego, aby wyeliminować wpływ tych czynników na analizowane zależności.

Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej pozwalającą na określenie istnienia zależności i ich opisanie ilościowe. Następnie podjęto próbę stworzenia modelu empirycznego w oparciu o sztuczne sieci neuronowe.

Wyniki badań

W celu przeprowadzenia analizy zebranych wyników badań przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji. Wyraźnie wyższe wartości przenikalności elektrycznej notowano dla mąki o granulacji poniżej 95 μm , różnice pomiędzy mąką o granulacji między 95 μm a 150 μm oraz powyżej 150 μm były nieistotne statystycznie (na poziomie istotności $\alpha=0,05$). Najniższe wartości przenikalności elektrycznej, w całym zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego uzyskiwano dla mąki z pełnego przemiału.

Z wyników analizy wariancji wynika też, że zarówno gatunek zboża jak i jego odmiana ma istotny wpływ na uzyskiwane wartości przenikalności dielektrycznej. Dla ilościowego scharakteryzowania różnic między poszczególnymi rodzajami mąki określono ich skład chemiczny.

Kolejnym etapem analizy uzyskanych wyników badań było zbadanie korelacji między przenikalnością elektryczną a analizowanymi cechami chemicznymi.

Wartość przenikalności elektrycznej ϵ jest:

- skorelowana z zawartością glutenu (współczynnik korelacji 0,40–0,75 dla poszczególnych odmian),
- współczynnik korelacji pomiędzy przenikalnością elektryczną, a zawartością białek, popiołu oraz skrobi kształtował się na poziomie od 0 do 0,3.

Współczynniki korelacji wielorakiej pomiędzy przenikalnością elektryczną a wszystkimi badanymi cechami chemicznymi kształtowały się dla badanych gatunków i odmian zboża z którego zrobiona została mąka w zakresie od 0,6 do 0,8, czyli skład chemiczny może tłumaczyć co najwyżej zachowanie ε w około 60 - 80%.

Zastosowanie wielowarstwowej sieci jednokierunkowej do modelowania przenikalności elektrycznej mąki

Sztuczne sieci neuronowe zostały wykorzystane do opracowania numerycznego modelu zależności przenikalności elektrycznej mąki od czterech parametrów chemicznych charakteryzujących jej odmianę, granulacji oraz częstotliwości pola elektromagnetycznego.

W celu uzyskania modelu o satysfakcjonującej dokładności przeprowadzono szereg badań symulacyjnych z wykorzystaniem pakietu *Matlab* w wersji 6.5. Uczenie sieci przeprowadzono na podstawie danych doświadczalnych. Zgromadzono zbiór zawierający 503 wektory, który został podzielony na zbiór uczący (350 wektorów) oraz zbiór testujący (153 wektory). Poszczególne dane wejściowe przyjmowały wartości z różnych przedziałów. Dla poprawy efektywności procesu uczenia, wartości składowych wektorów ciągu uczącego i testującego poddano normalizacji. W badaniach wykorzystano wielowarstwowe sieci nieliniowe o jednokierunkowym przepływie sygnałów z jedną warstwą ukrytą. Ze względu na specyfikę modelowanej zależności przyjęto następującą strukturę sieci neuronowej: 6 węzłów wejściowych (zawartość białka, zawartość skrobi, zawartość glutenu, zawartość popiołu, granulacja, częstotliwość), liczba neuronów w warstwie ukrytej zmieniana od 5 do 45, jeden neuron w warstwie wyjściowej. Uczenie sieci przeprowadzono za pomocą algorytmu Levenberga-Marquardta.

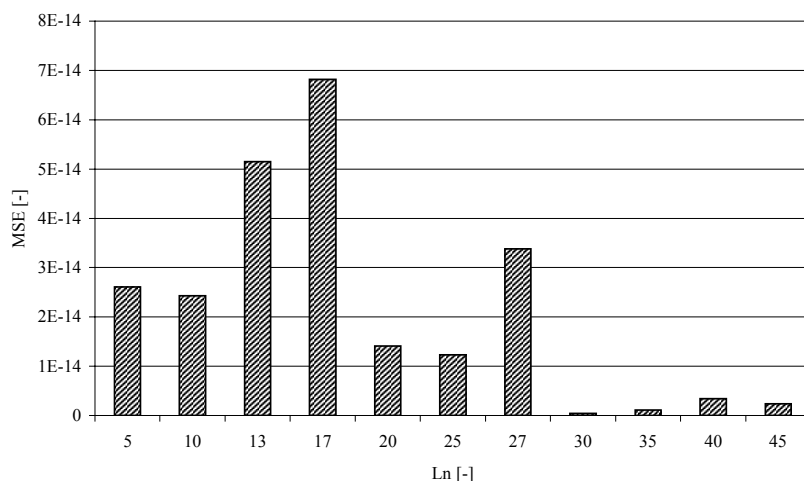
Jakość uzyskanego modelu dla poszczególnych konfiguracji sieci oceniano na podstawie wartości błędu względnego oraz błędu średniokwadratowego. W tabeli 1 przedstawiono błędy modelu dla wybranych konfiguracji sieci.

Tabela 1. Błędy modelu SSN dla wybranych konfiguracji sieci
Table 1. Errors of ANN model for selected network configurations

Liczba neuronów w warstwie ukrytej	Średni błąd względny [%]	Błąd średniokwadratowy MSE
5	2,86	$0,261 \cdot 10^{-13}$
10	2,48	$0,243 \cdot 10^{-13}$
13	3,84	$0,515 \cdot 10^{-13}$
17	3,70	$0,682 \cdot 10^{-13}$
20	1,94	$0,141 \cdot 10^{-13}$
25	1,73	$0,123 \cdot 10^{-13}$
27	2,68	$0,338 \cdot 10^{-13}$
30	0,38	$0,004 \cdot 10^{-13}$
35	0,54	$0,011 \cdot 10^{-13}$
40	0,87	$0,034 \cdot 10^{-13}$
45	0,84	$0,024 \cdot 10^{-13}$

Źródło: obliczenia własne autorów

Rysunek 1 przedstawia zależność błędu MSE od konfiguracji sieci. Uzyskane wyniki wskazują, że sieć zawierająca powyżej 30 neuronów w warstwie ukrytej pozwala na uzyskanie niskich błędów podczas eksploatacji wytrenowanej sieci.



Rys. 1. Zależność błędu średniokwadratowego MSE od liczby neuronów w warstwie ukrytej Ln
Fig. 1. Relationship between mean square error (MSE) and number of neurons in hidden layer Ln

Wnioski

W oparciu o analizę wyników pomiarów oraz przeprowadzone badania symulacyjne sformułowano następujące wnioski:

1. Istnieją zależności, istotne statystycznie, pomiędzy składem chemicznym a przenikalnością elektryczną mąki.
2. Przenikalność elektryczna mąki zależy znamienne od stopnia rozdrobnienia materiału badawczego (poziom istotności $\alpha=0,01$), dla różnych frakcji mąki uzyskano wartości od $26,2 \div 29,9 \text{ pF} \cdot \text{min}^{-1}$.
3. Wartości przenikalności elektrycznej maleją wraz ze wzrostem częstotliwości pola elektromagnetycznego. Największe wartości występują w częstotliwości pola elektromagnetycznego 100 Hz a najmniejsze w 20 kHz. Ze względu na zakresy dostępnej aparatury pomiarowej oraz na podstawie analizy wyników celem jest przyjęcie częstotliwości pola elektromagnetycznego 1 kHz jako właściwej do tego typu pomiarów.
4. Sztuczne sieci neuronowe nadają się do modelowania zależności przenikalności elektrycznej mąki od jej parametrów chemicznych i granulacji. Badania wykazały, że można je z powodzeniem wykorzystać do uzyskania użytecznego do celów praktycznych, numerycznego modelu. Model taki otrzymywany jest wyłącznie na podstawie danych doświadczalnych.

5. Zastosowanie sieci nieliniowej z jedną warstwą ukrytą jest wystarczające do uzyskania modelu dobrze odwzorowującego badaną zależność. Sieć zawierająca kilka neuronów w warstwie ukrytej pozwała na osiągnięcie średniego błędu względnego na poziomie pojedynczych %. Rozbudowa warstwy ukrytej do 30 neuronów pozwoliła na zmniejszenie średniego błędu względnego do poziomu poniżej 1%.
6. Zbiór danych testowych został zbudowany z wektorów, które nie były zawarte w zbiorze uczącym. Niska wartość błędów uzyskanych dla zbioru testującego świadczy o bardzo dobrych właściwościach aproksymacyjnych sieci neuronowych.

Bibliografia

- Górski M., Kaleta J., Langman J.** 2008. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do oceny stopnia dojrzałości jabłek. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 7(105). s. 53-57.
- Hebda T., Francik S.** 2006. Model twardości ziarniaków pszenicy wykorzystujący Sztuczne Sieci Neuronowe. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 13(88). s. 139-146.
- Langman J.** 1999. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w inżynierii rolniczej. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 1(7). s. 153-158.
- Luczycka D.,** 2007 Wpływ stopnia rozdrobnienia ziarna pszenicy na cechy dielektryczne badanego materiału. *Zeszyty Naukowe UP we Wrocławiu* 552. s. 137-144.
- Ślipek Z., Francik S., Frączek J.** 2003. Metodyczne aspekty tworzenia modeli SSN w zagadnieniach agrofizycznych. *Acta Agrophysica* vol. 2. Nr 1. s. 231-241.
- Złobecki A., Francik S.** 2003. Ocena odporności na uszkodzenia ziarna zbóż okryto- i nagoziarnistych przy pomocy metod statystycznych oraz z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych *Acta Agrophysica* vol. 2. Nr 1. s. 281-287.

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO DESCRIBE FLOUR PERMITTIVITY

Abstract. To a large extent, flour permittivity depends both on flour chemical constitution and granulation. The paper presents individual stages for developing an artificial neural network-based model describing flour permittivity related to independent variables determined for it. Examination of many different network architectures and multiple repetitions of teaching process increase probability for selecting best network to describe the analysed relationships.

Key words: flour, permittivity, artificial neural networks

Adres do korespondencji:

Deta Łuczycka; e-mail: deta.luczycka@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław

