

Dr inż. Krzysztof GÓRNICKI  
Katedra Podstaw Inżynierii – Wydział Inżynierii Produkcji  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA SIECI NEURONOWYCH W PRZEWIDYWANIU WIELKOŚCI ZMIANY OBJĘTOŚCI SUSZU PODCZAS JEGO NAWILŻANIA®

*W zaprezentowanych w artykule badaniach pokazano możliwość wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do określania przebiegu zmiany objętości suszu warzywnego podczas nawilżania.*

**Słowa kluczowe:** zmiana objętości, rehydratacja, sieci neuronowe.

### WSTĘP

Idea działania sztucznych sieci neuronowych (SNN) związana jest z poszerzającą się wiedzą z zakresu funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego [16]. Przewagę nad tradycyjnymi metodami obliczeniowymi SNN zawdzięczają temu, że na podstawie podanych im przykładowych danych wejściowych i wyjściowych same tworzą potrzebne użytkownikowi modele regresyjne lub rozwiązują problemy związane z przewidywaniem lub klasyfikacją. Niewątpliwą zaletą stosowania SNN jest znacznie niższy poziom wymaganej od użytkownika wiedzy teoretycznej niż w przypadku stosowania tradycyjnych obliczeniowych metod. Sieci te można łatwo wykorzystać, bez konieczności tworzenia i oprogramowania modelu [18], umożliwiają one również odwzorowanie złożonych funkcji.

Suszenie, będące najprostszym sposobem konserwowania produktów żywnościowych, powoduje wiele niekorzystnych zmian w strukturze komórkowej suszonego produktu, takich jak skurcz, zmiana tekstury, pogorszenie wartości odżywczej i cech sensorycznych [11]. Jedną z najbardziej niekorzystnych zmian fizycznych zachodzących podczas suszenia żywności jest zmniejszenie jej objętości. Utrata wody i ogrzewanie powoduje powstawanie naprężeń w strukturze komórkowej produktu żywnościowego, co prowadzi do tzw. skurczu, czyli zmiany kształtu produktu i zmniejszenia jego wymiarów. Jeśli zjawisko skurczu nie przebiega równomiernie podczas całego procesu suszenia, może ono prowadzić dodatkowo do powstawania w materiale pęknięć i szczelin [1]. Wielkość skurczu zależy od początkowej struktury materiału oraz budowy morfologicznej i składu chemicznego jego tkanki [6]. Na skurcz wpływają także sposób suszenia [8,17], temperatura suszenia [6], prędkość suszącego powietrza [6,15], względna wilgotność suszącego powietrza [15].

Zjawisko skurczu wpływa również negatywnie na proces rehydratacji suszonego produktu, gdyż zmniejsza zdolność tkanek wysuszonego materiału do chłonięcia wody [10]. Tymczasem wiele suszonych produktów jest spożywanych lub przemysłowo przetwarzanych po ich wcześniejszym uwodnieniu. Dlatego też jest ważne, aby otrzymać susz w warunkach, które w jak największym stopniu umożliwią późniejszy powrót rehydratowanego materiału do właściwości, jakimi charakteryzował się surowiec.

Podczas rehydratacji występują jednocześnie trzy następujące procesy: chłonięcie wody przez tkanki wysuszonego materiału, w wyniku czego zwiększa on swoją masę i objętość, co jest zmianą pozytywną oraz wypłukiwanie substancji rozpuszczonych w wodzie (cukrów, kwasów, minerałów, witamin) z rehydratowanego materiału, co jest zmianą niekorzystną [11].

W literaturze przedmiotu niewiele jest prac, które rozpatrują proces suszenia produktów spożywczych a następnie rehydratacji otrzymanego suszu [6,12,19], przy czym wyników badań uzyskanych dla jednego produktu nie można przenieść na inny. Powodem są różnice w strukturze i właściwościach, które są charakterystyczne dla każdego produktu i decydują o charakterze przebiegu procesu suszenia i rehydratacji.

W zagadnieniach związanych z suszarnictwem sztuczne sieci neuronowe wykorzystywano m.in. przy modelowaniu procesu suszenia [2,4,7], modelowaniu wilgotności względnej powietrza [3], wyznaczaniu izoterm sorpcji [4], analizie i klasyfikacji suszu [9,20], określaniu wielkości skurczu suszarniczego [5].

**Celem artykułu jest pokazanie możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do określania przebiegu zmiany objętości podczas nawilżania na przykładzie suszu plasterków korzenia pietruszki.**

W literaturze brak jest obszerniejszych badań na ten temat.

### MATODYKA BADAŃ

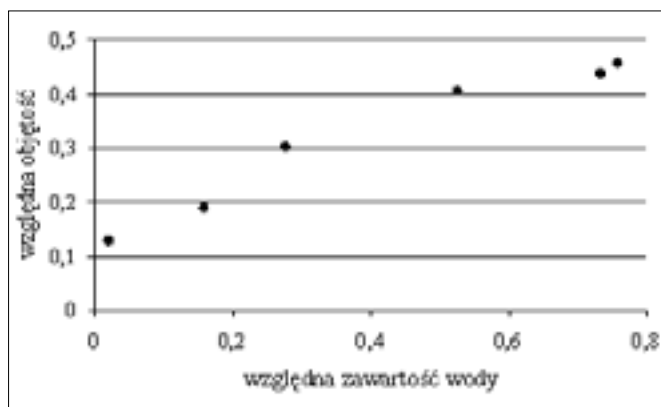
Do badań wykorzystano oczyszczone korzenie pietruszki odmiany Berlińska. Korzeń pietruszki był krojony w plastry o grubości 3, 6 i 9 mm. Temperatura powietrza suszącego w suszarce wynosiła 50, 60 i 70°C, temperatura rehydratacji zaś 20°C. Suszenie w warunkach konwekcji naturalnej trwało do uzyskania stałej masy suszu. Proces rehydratacji przeprowadzano w wodzie destylowanej przez 6 h. Rehydratowaną próbkę oddzielano od wody, osuszano bibułą i ważono z dokładnością 0,01 g. Pomiarów wykonano w trzech powtórzeniach. Oznaczenie objętości plasterków wykonano metodą wyporu w eterze naftowym. Pomiarów wykonano w trzech powtórzeniach. Maksymalny błąd względny wyznaczania objętości wynosił 5%. Zawartość suchej substancji oznaczono metodą suszarkową.

Do badań wykorzystano oprogramowanie Statistica Neural Networks. Badano różne struktury sieci neuronowych z algorytmem wstecznej propagacji błędów. Za wynik pozytywny

przyjęto takie dostrójenie modelu sieci neuronowej, aby suma kwadratów odchyłeń pomiędzy wektorem uzyskanym a pożądanym była mniejsza niż  $10^{-3}$ . Weryfikacja uzyskanych modeli odbywała się innym zbiorem danych.

## WYNIKI BADAŃ

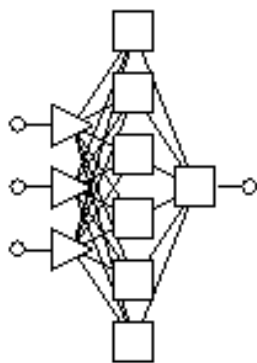
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe wyniki badań zmian objętości 3 mm plasterków korzenia pietruszki suszonych w temperaturze 60°C podczas rehydratacji.



Rys. 1. Przyrost objętości suszu (plasterki pietruszki o grubości 3 mm suszone w temperaturze 60°C) podczas rehydratacji.

Względna objętość oznacza stosunek objętości rehydratowanej próbki do objętości materiału przed suszeniem, natomiast względna zawartość wody – stosunek zawartości wody w rehydratowanej próbce do zawartości wody w materiale przed suszeniem.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat struktury wykorzystanej w pracy sieci neuronowej.



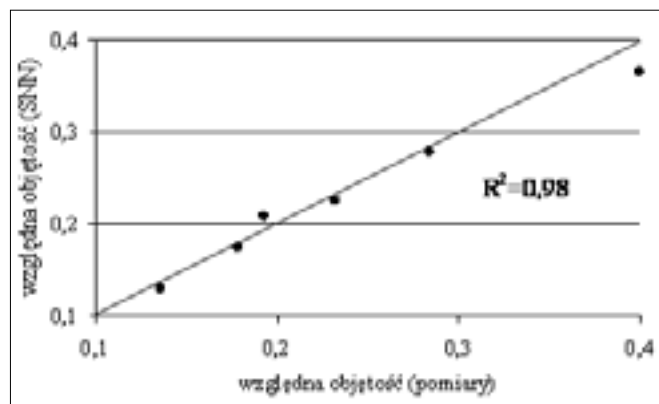
Rys. 2. Schemat struktury sieci neuronowej.

W strukturze sieci neuronowej zastosowano trzy warstwy:

- wejściową, która uwzględnia wielkość cząstki, temperaturę czynnika suszącego, względną zawartość wody w cząstce (stosunek aktualnej zawartości wody w cząstce do zawartości wody w materiale przed suszeniem (surowcu),
- jedną warstwę ukrytą,
- wyjściową: wartość względnej objętości cząstki (stosunek aktualnej objętości cząstki do objętości materiału przed suszeniem).

Uzyskano pozytywny rezultat uczenia sieci neuronowej. Maksymalny błąd względny zbioru testowego wyniósł 1%.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe wyniki przewidywania zmian objętości 9 mm plasterków korzenia pietruszki suszonych w temperaturze 50°C podczas rehydratacji. Wysoka wartość współczynnika determinacji ( $R^2=0,98$ ) wskazuje na dobre wyniki sieci neuronowej. Dla pozostałych suszy współczynnik ten przyjmował również wysokie wartości (0,96-0,99).



Rys. 3. Korelacja między danymi uzyskanymi z sieci neuronowej i danymi eksperymentalnymi dla zmian objętości suszu (9 mm plasterki suszone w temperaturze 50°C) podczas rehydratacji.

## PODSUMOWANIE

Przedstawiony przykład wykorzystania sztucznych sieci neuronowych SNN potwierdził możliwość zastosowania ich do określania wielkości zmian objętości cząstek podczas nawilżania. Duża dokładność, szybkość obliczeń oraz zdolność struktur sieci neuronowych zarówno do uogólniania jak i klasyfikowania, pozwala na wykorzystanie ich do określania przebiegu zmian objętości suszu warzywnego podczas nawilżania.

## LITERATURA

- [1] AKIYAMA T., HOYAKAWA K. 2000. *Heat and moisture transfer and hydrophysical changes in elastoplastic hollow cylinder – food during drying*. Journal of food Science, 65, 2, s. 315-323.
- [2] BALASUBRAMANIAN A., PANDA R.C., RAMAHANDRA RAO V.S. 1996. *Modelling of a fluidized bed drier using artificial neural network*. Drying Technology, 1996, 14, 7&8, s. 1981-1989.
- [3] BIAŁOBRZEWSKI I. 2008. *Neural modeling of relative air humidity*. Computers and Electronics in Agriculture, 60, s. 1-7.
- [4] FARKAS I., REMÉNYI P., BIRÓ A. 2000. *Neural network topology for modelling grain drying*. Comput. Electron. Agric., 2000, 26, S. 147-158.
- [5] GÓRNICKI K., KALET A. 2004. *Możliwość zastosowania sieci neuronowych w przewidywaniu wielkości skurczu suszarniczego*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, s. 36-37.
- [6] KERDPIBOON S., DEVAHASTIN S., KERR W.L. 2007. *Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying*. Journal of Food Engineering, 83, s. 570-580.

- [7] **KHAZAEI J., DANESHMANDI S. 2007.** *Modeling of thin-layer kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling.* Int. Agrophys., 21, s. 335-348.
- [8] **KOC B., EREN I., ERTEKIN F.K. 2008.** *Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying methods.* Journal of Food Engineering, 85, s. 340-349.
- [9] **KOSZELA K., WERES J. 2005.** *Analiza i klasyfikacja obrazów suszu warzywnego z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.* Inżynieria Rolnicza, 2, s. 77-82.
- [10] **KROKIDA M.K., MARINOS-KOURIS D. 2003.** *Rehydration kinetics of dehydrated products.* Journal of Food Engineering, 57, 1, s. 1-7.
- [11] **LEWICKI P.P. 1998.** *Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties. A review.* International Journal of Food Properties, 1, 1, s. 1-22.
- [12] **MASKAN M. 2001.** *Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying.* J. Food Engng., 48, S. 177-182.
- [13] **MAYOR L., SERENO A.M. 2004.** *Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review.* Journal of food Engineering, 61, s. 373-386.
- [14] **NOWAK D., WITROWA-RAJCHERT D., LEWICKI P.P. 1998.** *Skurcz objętościowy i zmiana gęstości marchwi i ziemniaka podczas suszenia konwekcyjnego.* Zeszyty problemowe postępu nauk rolniczych, z. 454, S. 461-468.
- [15] **OCHOA M.R., KESSELER A.G., PIRONE B.N., MARQUEZ C.A., DE MICHELIS A. 2007.** *Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (prunus avium) during convective dehydration with very simple models.* Journal of Food Engineering, 79, s. 657-661.
- [16] **OSOWSKI S. 1996.** *Sieci neuronowe.* Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [17] **PANYAWONG S., DEVAHASTIN S. 2007.** *Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor.* Journal of Food Engineering, 78, s. 151-161.
- [18] **SIECI NEURONOWE.** *Materiały na seminarium organizowane przez Statsoft Sp. z o.o., 14 października 1999 roku w Warszawie.*
- [19] **SINGH G.D., SHARMA R., BAWA A.S., SAXENA D.C. 2008.** *Drying and rehydration characteristics of water chestnut (tropa natans) as a function of drying air temperature.* Journal of Food Engineering, 87, s. 213-221.
- [20] **TRAJER J. 2001.** *Modelowanie procesu przechowywania warzyw w wybranych jego aspektach.* Warszawa, wydawnictwo SGGW.

## POSSIBILITY OF APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR PREDICTION OF REHYDRATION SIZE

### SUMMARY

*The possibility of using of artificial neural networks for determination of volume change during vegetable rehydration was discussed. The empirical data of parsley root particles were used.*

**Key words:** volume change, rehydration, neural networks.