

## MODELOWANIE W ŚRODOWISKU MATLAB REOLOGICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI MIĘSA ZWIERZĄT GOSPODARSKICH

Konrad Nowak, Ireneusz Białobrzewski

*Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Streszczenie.** W pracy dokonano porównania właściwości reologicznych mięsa zwierząt gospodarskich na przykładzie mięśni piersiowych indyka, pieczonych w temperaturach 160°C i 200°C. Porównanie realizowano na podstawie danych pochodzących z testu relaksacji naprężeń, przeprowadzanego na badanym materiale. Dla każdego z dwudziestu powtórzeń (w obu temperaturach) przebiegów eksperymentalnych wyznaczano współczynniki w modelu Maxwella, opisującym właściwości lepko-sprężyste produktu. Różnice pomiędzy odpowiednimi współczynnikami uzyskanymi dla różnych temperatur oceniono z wykorzystaniem testu Kruskala-Welisa. Uzyskane wyniki pozwalają twierdzić, że istnieje istotna statystycznie różnica pomiędzy właściwościami reologicznymi mięśnia indyckiego pieczonego w temperaturach 160°C i 200°C.

**Słowa kluczowe:** model Maxwell'a, właściwości reologiczne, mięso indyckie, relaksacja naprężeń

### Wykaz oznaczeń

- $E(t)$  – funkcja opisująca właściwości lepko-sprężyste [MPa],
- $E_i$  – moduł sprężystości dla ciała Hook'a [MPa], dla  $i=1,2,3$ ,
- $\eta_i$  – lepkość ciała Maxwell'a [MPa·s], dla  $i=1,2,3$ ,
- $\varepsilon_0$  – początkowe odkształcenie [%],
- $\sigma$  – naprężenie [MPa],
- $R$  – współczynnik korelacji Pearsona [-],

### Cel pracy

Celem pracy była analiza wpływu temperatury pieczenia (160 i 200°C) plastrów z mięśnia piersiowego indyka na właściwości reologiczne produktu w oparciu o wyniki testu relaksacji naprężeń.

## Metoda

Zaproponowana metoda, opierająca się o wnioskowanie statystyczne [Sadowska i in., 2009], służyła do porównania współczynników w semi-empirycznym równaniu modelu Maxwella (1), opisującym właściwości reologiczne mięśnia piersiowego indyka [De Nobile i in., 2007; Messens i in., 2000].

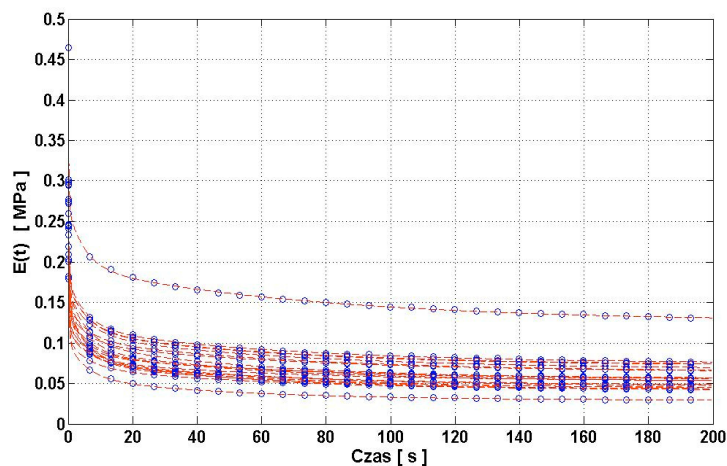
$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = \left[ E_0 + E_1 \cdot \exp\left(\frac{-E_1 \cdot t}{\eta_1}\right) + E_2 \cdot \exp\left(\frac{-E_2 \cdot t}{\eta_2}\right) + E_3 \cdot \exp\left(\frac{-E_3 \cdot t}{\eta_3}\right) \right] \quad (1)$$

Właściwości reologiczne produktu zostały wyznaczone na podstawie wyników testu relaksacji naprężeń, zaczerpniętych z literatury [Milewski, 2008], przeprowadzonych z wykorzystaniem aparatu Texture Analyzer (Stable Microsystems). Próbka była odkształcana o ok. 25% od postaci oryginalnej (kostka sześcienna o boku 10 mm). Pomiar wykonywany był w 20 powtórzeniach. Dla każdego powtórzenia wyznaczano wartości siedmiu współczynników ( $E_0, E_1, E_2, E_3, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ ) modelu (1), korzystając z procedur optymalizacyjnych *Optimization Toolbox* pakietu MATLAB. Na podstawie wyników nieparametrycznego testu Kruskalla-Welisa dokonywano oceny czy odpowiednie współczynniki różnią się statystycznie (poziom istotności  $p < 0,05$ ). Przyjęto założenie, iż jeżeli przynajmniej jeden współczynnik różni się istotnie to można stwierdzić, że temperatura wpływa istotnie na opisywane modelem Maxwella właściwości reologiczne produktu.

## Wyniki i dyskusja

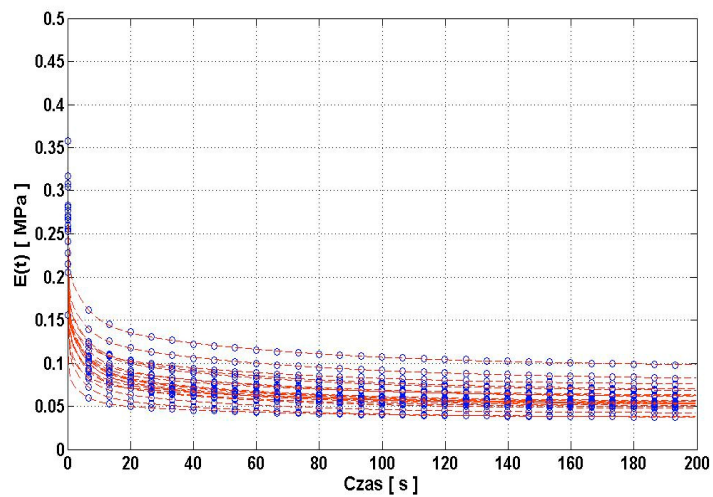
Na rysunkach 1 i 2 pokazano przebiegi zmian wartości zmierzonych oraz modelowych właściwości reologicznych próbek mięśnia piersiowego indyka w temperaturach odpowiednio 160 i 200°C, wyznaczonych w teście relaksacji naprężeń. Dla próbek pieczonych w temperaturze 160°C, początkowe naprężenie mieściło się w zakresie pomiędzy 0,15 a 0,3 MPa a końcowa wartość naprężeń mieściła się w zakresie pomiędzy 0,03 a 0,15 MPa. Natomiast, dla próbek pieczonych w temperaturze 200°C początkowe naprężenie mieściło się w zakresie pomiędzy 0,2 a 0,37 MPa, zaś końcowa wartość naprężeń mieściła się w zakresie pomiędzy 0,03 a 0,1 MPa.

Dla wszystkich przeprowadzonych testów relaksacji naprężeń współczynnik korelacji  $R$  pomiędzy wynikami eksperymentu a wartościami modelowymi, wyznaczonymi w oparciu o model Maxwella (1) był większy od 0.999. Stwierdzono, że istnieje statystycznie istotny wpływ temperatury tylko na wartości współczynnika  $E_1$  ( $p = 0.0425$ ). Na tej podstawie należy stwierdzić, że temperatura obróbki termicznej wpływa na właściwości reologiczne pieczonych plastrów z mięśnia piersiowego indyka.



Rys. 1. Przebiegi zmian wartości empirycznych (punkty -  $\circ$ ) oraz modelowych (linia - --) właściwości reologicznych mięśnia piersiowego indyka w pieczonoj temperaturze 160°C

Fig. 1. Trajectories of changes in empirical values (points -  $\circ$ ) and model values (line - --) of rheological properties for turkey breast muscle roasted at the temperature of 160°C



Rys. 2. Przebiegi zmian wartości empirycznych (punkty -  $\circ$ ) oraz modelowych (linia - --) właściwości reologicznych mięśnia piersiowego indyka pieczonoj w temperaturze 200°C

Fig. 2. Trajectories of changes in empirical values (points -  $\circ$ ) and model values (line - --) of rheological properties for turkey breast muscle roasted at the temperature of 200°C

## Wnioski

Zastosowana metoda porównania wpływu temperatury procesu pieczenia na właściwości lepko-sprężyste daje odpowiedź zero-jedynkową. Natomiast fakt, iż tylko jeden współczynnik w modelu jest istotnie różny przy wartości  $p = 0.0425$ , pozwala przypuszczać, iż analizowane, uśrednione przebiegi modelowe różnią się nieznacznie, przy czym wielkość tych różnic wymaga interpretacji eksperta i dalszych analiz.

## Bibliografia

- Del Nobile M.A., Chillo S., Mentana A., Baiano A.** 2007. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering* 78. pp. 978-983.
- Messens W., Van de Walle D., Arevalo J., Dewettinck K., Huyghebaert A.** 2000. Rheological properties of high-pressure-treated Gouda cheese. *International Dairy Journal* 10. pp. 359-367.
- Milewski A.** 2008. Wpływ warunków obróbki cieplnej na reologiczne właściwości materiałów spożywczych. Praca magisterska. UWM. Maszynopis.
- Sadowska J., Białobrzewski I., Jeliński T., Markowski M.** 2009, Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering*, vol. 94, is. 3-4. pp. 254-259.

## MODELLING RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LIVESTOCK MEAT IN MATLAB ENVIRONMENT

**Abstract.** The work compares rheological properties of livestock meat on the example of turkey breast muscles, roasted at the temperatures of 160°C and 200°C. The comparison was made using data originating from stress relaxation test carried out for the examined material. For each of twenty repetitions (at both temperature values) of experimental curves, the research involved determining coefficients in Maxwell's model describing viscous-elastic properties of the product. Differences between adequate coefficients obtained for various temperature values were assessed using the Kruskal-Wallis test. Obtained results confirm the existence of statistically significant difference between rheological properties of turkey muscle roasted at the temperatures of 160°C and 200°C.

**Key words:** Maxwell's model, rheological properties, turkey meat, stress relaxation

### Adres do korespondencji:

Konrad Nowak; e-mail: [konrad.nowak@uwm.edu.pl](mailto:konrad.nowak@uwm.edu.pl)  
Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
ul. J. Heweliusza 14  
10-718 Olsztyn