

KORELACJA WYZNACZNIKÓW PROFILOWEJ ANALIZY TEKSTURY (TPA) KWASOWYCH SERÓW TWAROGOWYCH Z JEGO PODSTAWOWYM SKŁADEM

Jacek Mazur¹, Paweł Sobczak¹, Kazimierz Zawiślak¹,
Marian Panasiewicz¹, Zbigniew Kobus¹, Dariusz Andrejko¹,
Wioletta Żukiewicz-Sobczak²

¹Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

²Instytut Medycyny Wsi w Lublinie

Streszczenie. Tekstura serów jest powiązana z wieloma czynnikami, wpływają na nią między innymi struktura, skład chemiczny oraz przeprowadzone procesy technologiczne podczas jego wytwarzania. Celem pracy było wykazanie wpływu zawartości tłuszczu, białka oraz wody na wartości pomiarowe podstawowych wyróżników profilowej analizy tekstury (TPA), takich jak: twardość I i II, kohezynność, adhezyjność, elastyczność, żujność. Badany materiał poddawano dwukrotnemu ściskaniu do 50% pierwotnej wysokości przy prędkościach głowicy 0,83 mm·s⁻¹. Analizie poddano sześć próbek sera twarogowego kwasowego niedojrzewającego o długości boku 15 mm przy trzech poziomach zawartości tłuszczu. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na opracowanie zależności matematycznych oraz uproszczonego modelu uwzględniającego wpływ zawartości wody, tłuszczu, białka na poszczególne wyróżniki profilowej analizy tekstury (TPA), charakteryzujących się dla twardości I i II wysokimi współczynnikami determinacji (w zakresie 0,7), a dla pozostałych niższymi (w zakresie 0,33÷0,5).

Słowa kluczowe: ser twarogowy, TPA, skład chemiczny, zawartość wody

WSTĘP

Tekstura jest bardzo ważna dla percepcji konsumentów w kontekście oceny jakości sera. Stosując metody instrumentalne, jesteśmy w stanie określić parametry tekstury produktu, co ułatwia wykorzystanie ich jako jedno z narzędzi do kontroli jakości.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jacek Mazur, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin, e-mail: jacek.mazur@up.lublin.pl

Tekstura serów jest powiązana z wieloma czynnikami, wpływają na nią między innymi struktura, skład chemiczny oraz przeprowadzone procesy technologiczne podczas jego wytwarzania [Marzec 2008]. Coraz bardziej zaawansowane metody instrumentalne analizy tekstury żywności pozwalają uzyskiwać bardzo obiektywne wyniki określające te cechy. Jedną z popularnych metod instrumentalnej oceny tekstury jest profilowa analiza tekstury (Texture Profile Analysis, TPA), która polega na interpretacji krzywej pomiarowej uzyskanej po dwukrotnym ściśnięciu produktu, przy zachowaniu określonych warunków oznaczenia [Bourne 2002, Marzec 2008]. Na teksturę żywności mają wpływ: rodzaj badanego surowca, geometryczne właściwości próbki i ich wielkość oraz zawartość wody, tłuszczu oraz wartość pH itp. [Harker i in. 1997, Nadulski 2000, Gunasekaran i Ak 2003].

Do tej pory niewielu badaczy prowadziło badania związane z teksturą serów twarogowych i jej korelacją z podstawowym składem chemicznym wyrobu. Badania prowadzone były na zbliżonej grupie produktów ogólnie nazywanych serami. Badania te głównie skupiały się na podpuszczkowych serach dojrzewających.

Tunick i inni [1993] stwierdzili, że sery mozzarella o niższej zawartości tłuszczu charakteryzowały się większą elastycznością. Chen i inni [1979] powiązali parametry tekstury serów z zawartością wody w serze i jego składem chemicznym (zawartością białka, tłuszczu, chlorku sodu) oraz pH sera. Wyprowadzili ogólny wzór określający twardość serów podpuszczkowych dojrzewających w zależności od zawartości wody oraz podstawowych składników chemicznych i pH sera [Gunasekaran i Ak 2003]:

$$H_r = -3,25 + 0,216 \cdot P_{rot} - 0,558 \cdot W - 0,0054 \cdot F_{at} - N_{aCl} + 0,665 \cdot pH$$

gdzie: H_r – twardość [kgf],
 P_{rot} – zawartość białka w serze [%],
 W – wilgotność sera [%],
 F_{at} – zawartość tłuszczu w serze [%],
 N_{aCl} – zawartość NaCl w serze [%],
 pH – wartość pH.

Rudan i inni [1999] zaobserwowali w serach mozzarella o większej zawartości tłuszczu niższe wartości twardości, kohezji oraz elastyczności. Zespół Everarda [2007] natomiast niższe wartości twardości i żujności sera Cheddar w stosunku do serów charakteryzujących się większą zawartością wody. Dodatkowo stwierdzono dodatnią korelację sprężystości, kohezji i żujności z pH serów i ujemną korelację z adhezywnością. Mazur [2013] zaobserwował ujemną korelację twardości I i II, adhezywności, kohezji oraz żujności sera twarogowego kwasowego półtłustego wraz ze wzrostem zawartości wody.

Brak literatury oraz informacji o badaniach związku wartości wyznaczników profilowej analizy tekstury i podstawowego składu chemicznego bardzo popularnego wyrobu w Polsce, jakim jest ser kwasowy twarogowy, prowadzi do wniosku, że wiedza ta powinna być uzupełniana.

Celem pracy było wykazanie wpływu zawartości tłuszczu, białka oraz wody na wartości podstawowych wyróżników profilowej analizy tekstury (TPA), takich jak: twardość I i II, kohezynność, adhezyynność, elastycznność i żujność.

MATERIAŁ I METODY

Na podstawie wyników badań wstępnych oraz w celu rozszerzenia bardzo skromnych studiów literaturowych z tego zakresu, do badań wykorzystano sery twarogowe chude, półtłusty i tłusty klasy I, pozyskane bezpośrednio u lokalnego producenta. Do produkcji twarogów używano mleka znormalizowanego pod względem zawartości tłuszczu, uzyskując wyrób końcowy o zróżnicowanej zawartości tłuszczu (chudy, półtłusty, tłusty). Analizowane produkty przed wykonaniem pomiarów przechowywano w opakowaniach z pergaminu w warunkach chłodniczych w temperaturze $6^{\circ}\text{C} \pm 1$.

Zawartość wody w twarogach określono metodą suszarkową zgodnie z normą [PN EN ISO 5534:2005]. Kontrolę pH realizowano, wykorzystując pH-metr CP411 z elektrodą EPP-3 zgodnie z normą [PN-A-86232:1973]. Pomiarzy realizowano w pięciu powtórzeniach.

Określenie podstawowego składu chemicznego sera twarogowego półtłustego przeprowadzono w laboratorium Zakładu Alergologii i Zagrożeń Środowiska w trzech powtórzeniach (pobieranych z danej partii surowca z trzech różnych miejsc). Zawartość tłuszczu określano metodą Gerbera, zawartość białka metodą Kjeldahla [PN-A-04018:1975].

Analizę tekstury przeprowadzono, wykorzystując test podwójnego ściskania profilowej analizy tekstury za pomocą urządzenia TA XT Plus TEXTURE ANALYSER. Sześcienne próbki o boku 15 mm poddawano dwukrotnemu ściskaniu do 50% pierwotnej wysokości przy prędkości głowicy $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Parametry takie, jak twardość I i II, adhezyynność, kohezynność, elastycznność odczytywano z wykresu siła–czas, a żujność wyliczano z zależności (żujność = twardość I \times kohezynność \times elastycznność). Pomiarzy realizowano w temperaturze otoczenia ($T_{\text{ot}} = 20^{\circ}\text{C} \pm 1$), 15 minut ± 5 od wyjęcia sera z komory chłodniczej. Pomiarzy realizowano w 12 powtórzeniach.

Otrzymane wyniki poddano podstawowej analizie statystycznej. Do określenia istotności różnic wykorzystano test Tukeya, przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,05$. Zależności matematyczne teksturalnych atrybutów sera kwasowego uzyskano w wyniku przeprowadzonej estymacji krokowej (regresja użytkownika z wykorzystaniem najmniejszych kwadratów) metodą Levenberga-Marquardta. Analizy wykonano z wykorzystaniem programów Statistica 6.1 oraz 10 [www.statsoft.pl].

Wyboru ostatecznej postaci zależności matematycznej dla poszczególnych wyznaczników profilowej analizy tekstury sera twarogowego kwasowego dokonano na podstawie wartości współczynnika determinacji (w przypadku równań o zbliżonym współczynniku determinacji wybierany był model o prostszej postaci).

WYNIKI I DYKUSJA

Wartości pH oraz poziomy podstawowych składników twarogów (tab. 1) potwierdziły ich prawidłowy poziom przewidziany dla serów twarogowych kwasowych i były one zbliżone do poziomów deklarowanych przez producenta.

Tabela 1. Podstawowy skład chemiczny oraz pH analizowanych serów twarogowych kwasowych
Table 1. The basic chemical composition and pH of acid curd cheese

Nazwa – Name	Udział ogółem – Part on the whole [%]		
	Chudy – Low-fat	Półtłusty – Semi-fat	Tłusty – Fat
Białko – Protein	19,9	17,1	15,3
S.D. – Standard deviation	0,02	0,015	0,01
Tłuszcz – Fat	0,5	3,6	8,9
S.D. – Standard deviation	0,008	0,01	0,011
pH	4,41 ^e	4,41 ^e	4,43 ^h
S.D. – Standard deviation	0,021	0,01	0,012
Zawartość wody – Water content	72,79	74,94	68,67
S.D. – Standard deviation	0,017	0,043	0,064

Wartości średnie pH oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie przy $\alpha = 0,05$.

W badanych serach zaobserwować można ujemną korelację między zawartością białka i tłuszczu. Największą zawartość wody odnotowano dla sera twarogowego półtłustego, a najmniejszą dla tłustego. Dla analizowanych serów twarogowych chudych i półtłustych nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w poziomie pH.

Profilowa Analiza Tekstury (TPA)

Rysunki od 1 do 5 przedstawiają rozkład wartości podstawowych wyznaczników tekstury sera twarogowego kwasowego dla wszystkich partii o zróżnicowanej zawartości tłuszczu (wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie przy $\alpha = 0,05$).

Mimo często niejednoznacznych wpływów zmienności zawartości wody, tłuszczu i białka uzyskane wyniki badań pozwoliły na opracowanie zależności matematycznych uwzględniających wpływ procentowego udziału tych składników na poszczególne wyróżniki profilowej analizy tekstury (TPA). Dla wyznacznika elastyczności w wyniku przeprowadzonych analiz nie udało się otrzymać równania empirycznego opisującego jej zmienność o R^2 większym od 0,25.

W wyniku przeprowadzonej analizy korelacji oraz estymacji krokowej nieliniową (regresja użytkownika z wykorzystaniem najmniejszych kwadratów) metodą Levenberga-Marquardta w przypadku sera twarogowego kwasowego zmienności pH nie uzyskały istotnego wpływu na uzyskiwane formy równań empirycznych. Proponowana ogólna forma równania opisująca zmienność podstawowych wyznaczników tekstury TPA (dla zakresu wilgotności 68÷75%, zawartości tłuszczu 0,5÷9% oraz białka 15÷20%) przyjęła następującą postać:

$$y = a \cdot F_{at} + b \cdot P_{rot} + c \cdot W$$

gdzie: y – wyznacznik TPA (twardość I [N], twardość II [N], kohezijność, adhezyjność [mJ], żujność [N]),

P_{rot} – zawartość białka w serze [%],

W – zawartość wody w serze [%],

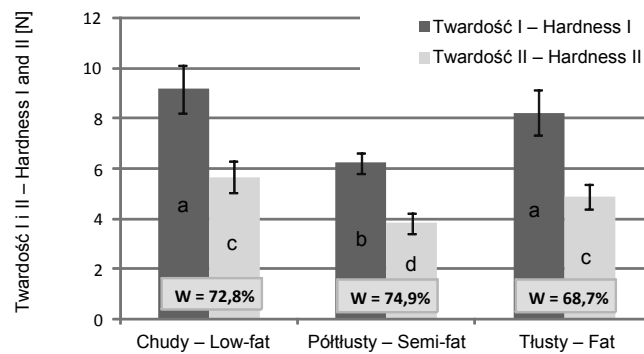
F_{at} – zawartość tłuszczu w serze [%],

a – współczynnik zależny od zawartości tłuszczu w serze (dla twardości I i II [N], kohezijności [-], żujności [N]),

b – współczynnik zależny od zawartości białek w serze (dla twardości I i II [N], kohezijności [-], adhezyjności [mJ], żujności [N]),

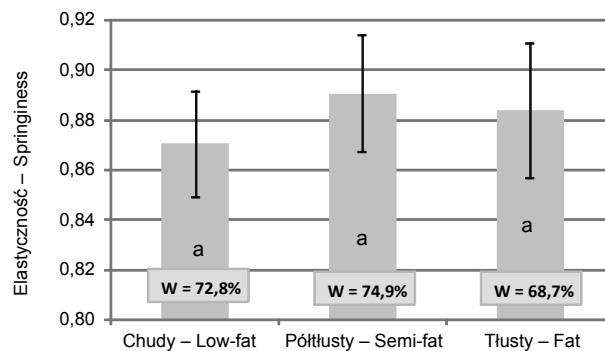
c – współczynnik zależny od zawartości wody w serze (dla twardości I i II [N], kohezijności [-], adhezyjności [mJ], żujności [N]).

Wartości poszczególnych współczynników dla analizowanych wyznaczników TPA przedstawiono w tabeli 2.



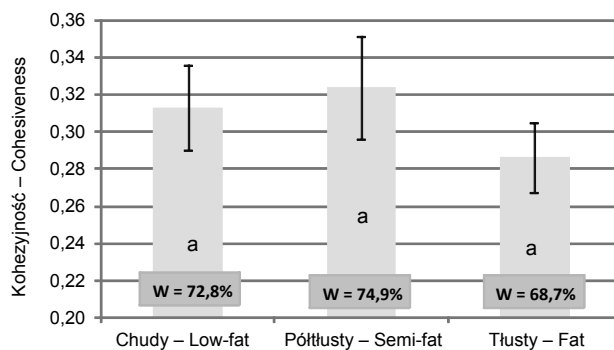
Rys. 1. Rozkład wartości twardości I i II dla analizowanych serów twarogowych kwasowych

Fig. 1. Distribution of hardness I and II for the analyzed acid curd cheese

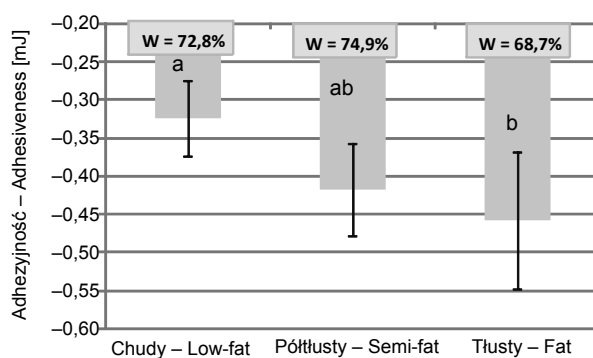


Rys. 2. Zależności elastyczności dla analizowanych serów twarogowych kwasowych

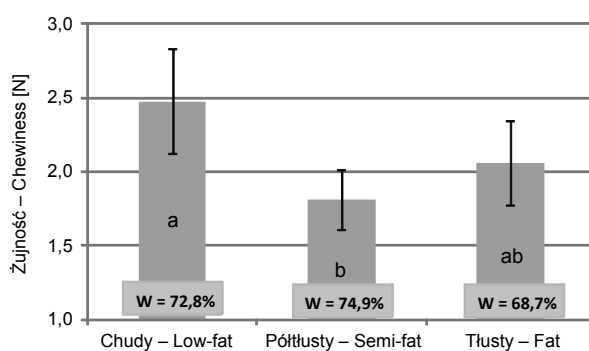
Fig. 2. Depending springiness for the analyzed acid curd cheese



Rys. 3. Zależności kohezyności dla analizowanych serów twarogowych kwasowych
 Fig. 3. Depending on the cohesiveness of the analyzed acid curd cheese



Rys. 4. Zależności adhezyności dla analizowanych serów twarogowych kwasowych
 Fig. 4. Depending adhesiveness for the analyzed acid curd cheese



Rys. 5. Zależności żujności dla analizowanych serów twarogowych kwasowych
 Fig. 5. Depending chewiness for the analyzed acid curd cheese

Tabela 2. Współczynniki oraz jednostki modelu estymacji nieliniowej podstawowych wyznaczników TPA (współczynniki statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$)Table 2. Coefficients and model units nonlinear estimation of fundamental determinants of TPA (coefficients statistically significant at $\alpha = 0.05$)

Współczynnik – Coefficients	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²
Twardość I – Hardness I				
Wartość – Value	0,875 N	2,255 N	–0,496 N	0,73
Wyniki testu t-Studenta – Student's t-test results	8,648	9,3	–7,592	
Twardość II – Hardness II				
Współczynnik – Coefficient	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²
Wartość – Value	0,501 N	1,348 N	–0,294 N	0,7
Wyniki testu t-Studenta – Student's t-test results	7,513	8,446	–6832	
Kohezynność – Cohesiveness				
Współczynnik – Coefficient	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²
Wartość – Value	–0,008	–0,017	0,009	0,33
Wyniki testu t-Studenta – Student's t-test results	–2,652	–2,36	4,649	
Adhezyjność – Adhesiveness				
Współczynnik – Coefficient	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²
Wartość – Value	–	0,044 mJ	–0,016 mJ	0,42
Wyniki testu t-Studenta – Student's t-test results	–	5,724	–8,682	
Żujność – Chewiness				
Współczynnik – Coefficient	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R ²
Wartość – Value	0,15 N	0,445 N	–0,089 N	0,5
Wyniki testu t-Studenta – Student's t-test results	4,074	5,061	3,739	

W analizowanych serach twarogowych zaobserwowano wyższe wartości wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu twardości I i II oraz żujności (jednak w tym przypadku nie potwierdzono statystycznie istotności tych różnic) dla twarogu półtłustego względem tłustego (rys. 5). Dodatkowo odnotowano w miarę zwiększania się zawartości tłuszczu większe wartości adhezyjności (rys. 4) dla wszystkich badanych wariantów oraz większe wartości wyznacznika elastyczności, jednak tylko dla sera chudego względem tłustego.

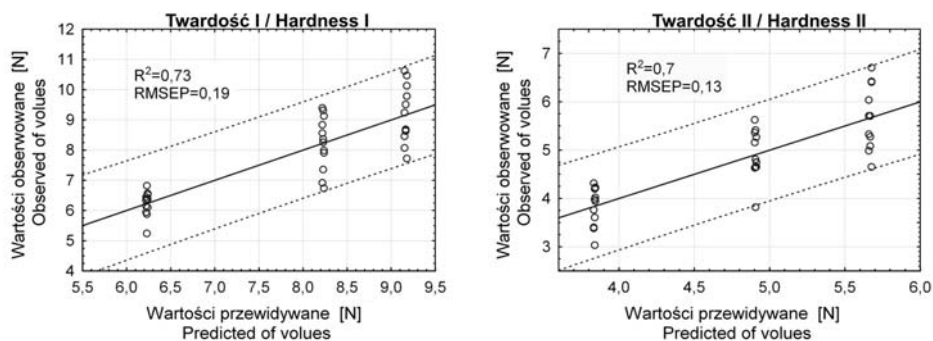
W badaniach Baraka [2015] zaobserwować można dla świeżych miękkich serów charakteryzujących się większą zawartością wody wyższe wartości twardości I, kohezynności oraz żujności oraz brak statystycznie istotnego wpływu na elastyczność. W analizowanych serach twarogowych podobną zależność stwierdzono dla serów półtłustych względem tłustych i chudych (rys. 1 i 5).

Mazur [2013] w swoich badaniach sera twarogowego półtłustego stwierdził, że w miarę wzrostu zawartości wody następuje zmniejszenie twardości I i II i żujności. Dla analizowanego twarogu podobną zależność stwierdzono dla serów półtłustych względem tłustych i chudych (rys. 1 i 5). Odmienne trend, czyli w miarę zwiększają-

cej się zawartości wody obserwowano większe wartości twardości I i II oraz żujności w serze chudym względem sera tłustego. Mazur [2013] zaobserwował również obniżenie wartości kohezyności w miarę wzrostu zawartości wody w serze kwasowym półtłustym, podobną zależność dla analizowanego sera twarogowego można stwierdzić jedynie dla kohezyności twarogu chudego i półtłustego (rys. 3).

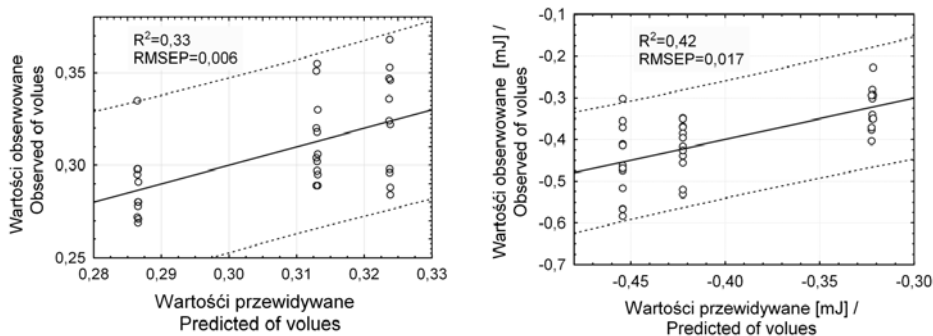
Zaobserwowane obniżenie wartości bezwzględnej wyznacznika adhezyjności wraz ze wzrostem zawartości wody z wyłączeniem próbek pochodzących z serów tłustych (rys. 4) w analizowanym serze. Podobne zależności potwierdzają wcześniejsze badania Mazura [2013] dotyczące serów twarogowych kwasowych półtłustych.

Zależność wartości obserwowanych od przewidywanej (na podstawie opracowanych równań) wraz z 95-procentowym przedziałem predykcji dla poszczególnych wyznaczników TPA przedstawiono na rysunkach od 6 do 9.



Rys. 6. Twardość I i II – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych

Fig. 6. Hardness I and II – dependence of the observed values from the predicted

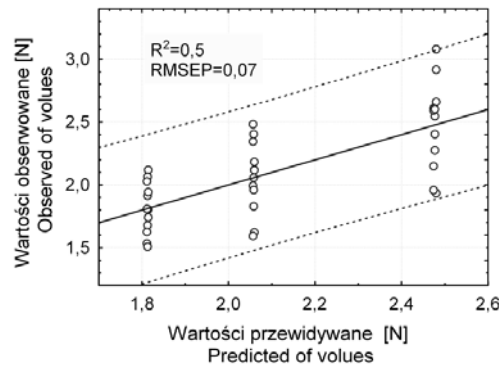


Rys. 7. Kohezynność – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych

Fig. 7. Cohesiveness – dependence of the observed values from the predicted

Rys. 8. Adhezyjność – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych

Fig. 8. Adhesiveness – dependence of the observed values from the predicted



Rys. 9. Żujność – zależność wartości obserwowanych od przewidywanych

Fig. 9. Chewiness – dependence of the observed values from the predicted

Silne wzajemne powiązanie zawartości wody i głównych składników suchej masy, czyli białka oraz tłuszczu utrudnia uzyskanie równań o wysokich współczynnikach dopasowania. Szczególne znaczenie ma tu zawartość białka i tłuszczu, ponieważ gdy zwiększa się zawartość tłuszczu, zmniejsza się zawartość białka.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich analiz zaproponowano następujące wnioski i podsumowania:

1. Stwierdzono wyższe wartości twardości I i II oraz żujności i kohezji w serach o niższej zawartości tłuszczu i wyższej zawartości białka oraz wody.
2. Zaobserwowano większe bezwzględne wartości adhezyjności oraz elastyczności wraz ze zwiększającą się zawartością tłuszczu i zmniejszającą się zawartością białka oraz wody.
3. Dla serów twarogowych kwasowych nie wykazano istotnego wpływu zmienności pH na uzyskiwane formy równań empirycznych.
4. Dla wyznaczników TPA takich jak twardość I i II oraz żujności uzyskano dodatnią korelację wraz z przyrostem zawartości tłuszczu i białek, a ujemną dla przyrostu zawartości wody sera twarogowego.
5. Dla wyznacznika TPA kohezji uzyskano ujemną korelację przy przyroście zawartości tłuszczu i białek, a dodatnią dla przyrostu zawartości wody.
6. W przypadku adhezyjności uzyskano dodatnią korelację przy zwiększającej się zawartości białek i ujemną dla zwiększającej się zawartości wody. Nie stwierdzono korelacji między uzyskiwanymi wartościami przy zmianie zawartości tłuszczu.

LITERATURA

- Baraka A., Abd El-Salam, 2015. Effect of Milk Fat Replacement with Vegetable Oil and/or Whey Protein Concentrate on Microstructure, Texture and Sensory Characteristics of Fresh Soft Cheese. *International Journal of Dairy Science* 10(3), 117–125.
- Bourne M.C., 2002. Food Texture and viscosity. Concept and measurement. Second Food Sci. Technol., Inter. Series, Acad. Press, New York.
- Chen A.H., Larkin J. W., Clark C.J., Irwin W.E., 1979. Textural analysis of cheese. *J. Dairy Sci.* 62, 901–907.
- Everard C.D., O'Donnell C.P., O'Callaghan D.J., Sheehan E.M., Delahunty C.M., O'Kennedy B.T., Howard V., 2007. Prediction of sensory textural properties from rheological analysis for process cheeses varying in emulsifying salt, protein and moisture contents. *J. of the Sci. of Food and Agric.* 87, 641–650.
- Gunasekaran S., Ak M.M., 2003. Cheese rheology and texture. Boca Raton, FL CRC Press.
- Harker F.R., Stec M.G.H., Hallett I.C., Bennett C.L., 1997. Texture of parenchymatous plant tissue. A comparison between tensile and other instrumental and sensory measurements of tissue strength and juiciness. *Postharvest Biol. and Techn.* 11, 63–72.
- Marzec A., 2008. Tekstura żywności. Część I – Wybrane metody instrumentalne. *Przemysł Spożywczy* 2, 12–15.
- Mazur J., 2013. Próba normalizacji metodyki badań profilowej analizy tekstury serów. *Towarzystwo Wydawnictw Naukowych Libropolis.*
- Nadulski R., 2000. Methodological aspects of food texture measurements using TPA test. *International Agrophysics* 14(2), 207–213.
- PN-A-86232:1973. Mleko i przetwory mleczne. Sery. Metody badań.
- PN-A-04018:1975. Produkty rolniczo-żywnościowe. Oznaczanie azotu metodą Kjeldahla i przeliczanie na białko.
- PN-EN ISO 5534:2005. Ser i sery topione. Oznaczanie zawartości całkowitej suchej masy.
- Rudan M.A., Barbano D.M., Yun J.J., Kindstedt P.S., 1999. Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. *Journal Dairy Science* 82, 661–672.
- Tunick M.H., Malin E.L., Smith P.W., Shieh J.J., Sullivan B.C., Mackey K.L., Holsinger V.H., 1993. Proteolysis and rheology of low fat and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. *Journal of Dairy Science* 76, 3621–3628.

CORRELATION TEXTURE PROFILE ANALYSIS (TPA) DETERMINANTS OF ACID CURD CHEESE WITH ITS BASIC COMPOSITION

Summary. Texture is very important for the perception of consumers in terms of quality cheese. It is possible to determine the texture parameters by using the instrumental methods, which makes it easier to use them as a tool for quality control. In order to fully interpret the texture of the cheese to be aware of its effect on the structure, chemical composition and carried out the processes and its manufacture.

The aim of the study was to demonstrate the impact of fat, protein and water on the basic parameters of measurement texture profile analysis (TPA) values such as: hardness I and II, cohesiveness, adhesiveness, springiness and chewiness.

The test material was subjected to twice the compression up to 50% of the original amount at speeds of head: $0.83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Cubic samples were analyzed no matured acid curd cheese of side length 15 mm at 3 levels of fat content (0.5; 3.6; 8.9%).

The obtained results led to the development of mathematical relations and the simplified model takes into account the effect of water content, fat, protein differentiators for each texture profile analysis (TPA), and the hardness I and II is characterized by high coefficients of determination (in the range of 0.7) for the others lower (in the range of 0.33÷0.5). The strong correlation of water content, protein and fat makes it difficult to obtain equations with high coefficients fit. The following conclusions and summary were based on studies and analysis: There was found a decrease in hardness I and II and the chewiness and cohesiveness with the increase of fat and decrease of protein and water content. There was observed the increase of the absolute value of the adhesiveness and the springiness with an increase of fat content and increase of protein and water content. For the acid curd cheese showed no significant effect of pH variation on the form of empirical equations. It was achieved positive correlation with the increase of fat and protein content, and negative for growth of the water content in the quark cheese for TPA determinants such as I and II hardness and chewiness. It was obtained a positive correlation with an increase of protein content, and negative for growth of the water content in the case of adhesiveness. In addition, there was no correlation values derived from changes in fat content.

Key words: curd cheese, TPA, chemical composition, moisture content