

Dr inż. Joanna KRUK  
Dr inż. Paweł PTASZEK  
Prof. dr hab. inż. Mirosław GRZESIK  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Technologii Żywności  
Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego

## CHARAKTERYSTYKA FIZYCZNA SPIENIONYCH UKŁADÓW SPOŻYWCZYCH NA BAZIE BIAŁKA JAJA KURZEGO I PEKTYNY JABŁKOWEJ®

Physical characteristic of food foam systems based on egg white protein  
and apple pectin®

*W artykule przedstawiono fizyczną charakterystykę spożywczych układów spienionych otrzymywanych na bazie białka jaja kurzego z dodatkiem pektyny jabłkowej. Wyznaczono objętościowy ułamek fazy gazowej oraz rozkład pęcherzy pian na podstawie analizy obrazu. Przeprowadzono również badania oscylacyjne, które posłużyły do wyznaczenia widm relaksacji badanych pian. Wykazano wpływ pektyny na ilość gazu, a także na rozkład wielkości pęcherzy gazu rozproszonego w fazie ciągłej oraz na intensywność zachowań relaksacyjnych.*

*This article presents the physical characteristics of food foam systems obtained on the basis of egg white with the addition of apple pectin. The volume fraction of the gas phase, the distribution of foam bubbles image analysis were determined. Oscillatory tests were also performed, which were used to determine the relaxation spectra of studied foams. The influence of pectin on the amount of gas and the size distribution of gas bubbles dispersed in the continuous phase and on the intensity of relaxation.*

### WPROWADZENIE

Piany są niejednorodnymi układami, w których gaz jest zdyspergowany w fazie ciągłej – ciekłej lub stałej [13, 14]. Tego rodzaju układy powszechnie występują w technologii żywności jako surowce i produkty gotowe takie jak lody, kremy, musy – piany mokre, a także pieczywo, ciasta, bezy – piany suche. Białka ze względu na obecność regionów hydrofobowych i hydrofilowych, są najczęściej wykorzystywanymi czynnikami pianotwórczymi [1, 2], do najczęściej stosowanych należy białko jaja kurzego i pochodne białek serwatkowych. Te heterogeniczne układy, otrzymywane poprzez wprowadzenie powietrza do roztworu białkowego na drodze ubijania, są jednak nietrwałe, ponieważ rozfałdowany – na skutek wprowadzenia do układu energii mechanicznej – łańcuch białkowy dąży do odtworzenia swojej pierwotnej konformacji. Przejawem tego zjawiska jest degradacja struktury piany i powstawanie odcieku [4, 18, 20]. Tym niepożądanym zjawiskom można zapobiegać poprzez zmianę siły jonowej lub pH w układzie [8, 10], a także poprzez zastosowanie odpowiednich dodatków spożywczych, mogą to być substancje mało- i wielkocząsteczkowe. Do tej grupy należą sacharydy, których użycie umożliwia uzyskanie efektu stabilizacji piany [5, 6]. Standardowo stosuje się mono- i disacharydy, jednak ze względu na ich wysoką kaloryczność (i konieczność stosowania dużych dawek) coraz częściej podejmowane są próby ich zastąpienia polisacharydami [11]. Substancje te powodują wzrost lepkości fazy ciągłej, co wpływa na rozkład wielkości pęcherzy gazu zawieszzonego w cieczy, a więc na ułamek objętościowy fazy gazowej i gęstość powstałego układu spienionego. Polisacharydy mają również wpływ na właściwości reologiczne pian, poprzez kształtowanie

ich właściwości lepkosprężystych [9, 16], a ta cecha jest w sposób ścisły powiązana z właściwościami fizykochemicznymi pian (gęstość i zawartość fazy rozproszonej), ważnymi przy prognozowaniu właściwości technologicznych [12].

Materiały wykazujące właściwości lepkosprężyste, a więc pośrednie między idealnymi ciałami sprężystymi i lepkiemi cieczami, można opisać za pomocą modeli mechanicznych bazujących na połączeniu tłumików i sprężyn. Pierwsze z nich wyrażają właściwości lepkie (prawo Newtona), drugie natomiast właściwości sprężyste (prawo Hooke'a). Zestawienie tych elementów umożliwia modelowanie zjawisk lepkosprężystych zachodzących w materiałach rzeczywistych. Równoległy układ sprężyny i tłumika – element Voigta oraz szeregowy układ – element Maxwella to podstawowe elementy modeli mechanicznych. W zależności od rodzaju wykonanego doświadczenia reologicznego zmianie ulega postać przyjętego modelu. Jednymi z częściej stosowanych są uogólniony model Voigta, Maxwella, które reprezentują odpowiednio retardację i relaksację [3, 19].

**Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących wpływu dodatku pektyny jabłkowej na właściwości fizykochemiczne spożywczych układów spienionych otrzymywanych na bazie białka jaja kurzego.**

### MATERIAŁY I METODY

Jako materiał badawczy wybrano suszony komercyjny preparat białka jaja kurzego (BJK) (Ovopol, Polska) oraz pektynę jabłkową (P) (Pektowin, Polska).

Mieszaniny bazowe służące do wytwarzania pian przygotowano stosując proporcję 9:1 (woda : sucha masa). Suchą

masę stanowiło białko jaja kurzego (piana wyjściowa) lub białko jaja kurzego z dodatkiem pektyny. Stosowane proporcje składników przedstawiono w tabeli 1. Przygotowane w ten sposób mieszaniny umieszczano w miasarce planetarnej i ubijano przy 300obr/min. Optymalny czas ubijania wynoszący 120s ustalono na podstawie badań wstępnych (przy takim czasie ubijania obserwowano największą zawartość fazy gazowej ( $\phi$ ) w fazie rozpraszającej).

**Tabela 1. Stężenie (w/w) białka jaja kurzego i pektyny w badanych pianach**

**Table 1. Concentration (w/w) of egg white protein and pectin in examined foams**

Stężenie białka (BJK), %	Stężenie pektyny (P), %
9,1	0
8,8	0,3
8,5	0,6

Źródło: Badania własne / Source: The own study

Udział objętościowy fazy gazowej w fazie rozpraszającej wyznaczono metodą wagową wykorzystując zależność:

$$\phi = \frac{V_p - V_c}{V_p} = 1 - \frac{\rho_p}{\rho_c}$$

gdzie:  $V_p$  – objętość piany, ml;  
 $V_c$  – objętość cieczy, ml;  
 $\rho_p$  – gęstość piany,  $g \cdot cm^{-3}$ ;  
 $\rho_c$  – gęstość cieczy,  $g \cdot cm^{-3}$ .

W celu wyznaczenia gęstości cieczy pianę zniszczono w wirówce przy 9000 obr/min. Czas wirowania był niezależny od składu fazy rozpraszającej i wynosił 10 minut. Z uzyskanej cieczy pobrano próbkę o objętości 5  $cm^3$  i zważono. W przypadku gęstości piany pomiary wykonano w cylindrze miarowym o objętości 100 ml. Pomiary wykonano w pięciu powtórzeniach w temperaturze 23°C.

Do badań rozkładu wielkości pęcherzy powietrza zawieszonych w fazie ciekłej wykorzystano odwrócony mikroskop optyczny. Otrzymane zdjęcia mikroskopowe pian zarejestrowano za pomocą kamery i zapisano w postaci plików TIFF o rozdzielczości 1280x1024 pikseli. Analizę obrazu wykonano programem ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/index.html>) wykorzystując autorskie makropolecenie, którego zastosowanie umożliwiło zmierzenie długości wielkiej i małej osi elipsy, charakteryzujących wielkość pęcherzy badanych populacji. Histogramy pian wyznaczono dla populacji o liczności pęcherzy wynoszącej  $5 \cdot 10^4$ .

Reologiczne pomiary pian wykonano reometrem RS6000 (Haake, Niemcy). Zastosowano sensor typu płytka-płytką (średnica płytki 35mm). Ze względu na kluczowe znaczenie wielkości szczeliny pomiarowej, przy pomiarach właściwości zdyspergowanych układów m.in. pian, jej wielkość ustalono na podstawie badań wstępnych i przyjęto równą 2mm. Przy jej doborze należało pamiętać, aby nie następowało zgniatanie i niszczenie pęcherzy. Badania reologiczne polegały na pomiarze wartości zespolonego modułu sprężystości  $G^*$  w funkcji częstotliwości w zakresie od 0,1

do 10Hz w temperaturze 23°C. W pierwszym etapie ustalono zakres liniowej lepkości sprężystości [3, 17]. W przypadku pomiarów w dziedzinie częstotliwościowej, test ten służy do określenia bezwzględnej wartości zespolonego modułu sprężystości w funkcji amplitudy odkształcenia ( $|G^*(\gamma_o)|$ ). Obszar lepkości sprężystości liniowej określa zakres zmian amplitudy odkształcenia, przy której wartości  $|G^*(\gamma_o)|$  są stałe (równoległe do osi odciętych  $\gamma_o$ ). Na podstawie pomiarów lepkości sprężystości liniowej przeprowadzonych w zakresie skrajnych wartości częstotliwości, wyznaczono wspólną wartość  $\gamma_o = 0,01$  dla wszystkich analizowanych pian, która była następnie wykorzystana do określenia  $G'(\omega)$  i  $G''(\omega)$ . Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach w temperaturze 23°C.

Do opisu ilościowego wyników zastosowano ciągły zespolony model Maxwell'a:

$$G^*(j\omega) = G_e + \int_0^{+\infty} H(\lambda) \cdot \frac{(\lambda\omega)^2}{1 + (\lambda\omega)^2} d\lambda + j \cdot \int_0^{+\infty} H(\lambda) \cdot \frac{(\lambda\omega)}{1 + (\lambda\omega)^2} d\lambda$$

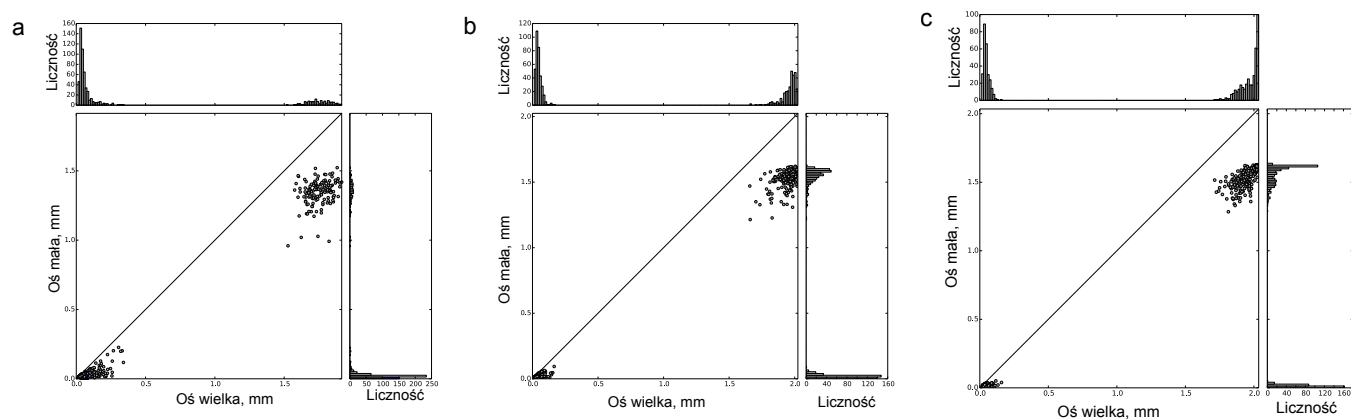
Jest to reologiczny model służący do przedstawiania zjawisk relaksacji/relaksacyjnych, gdzie:

- $G^*$  – zespolony moduł sprężystości, Pa;
- $G_e$  – moduł równowagowy, Pa;
- $H(\lambda)$  – spektrum relaksacji, Pa;
- $\lambda$  – czas relaksacji, s;
- $\omega$  – częstotliwość, Hz;
- $j$  – jednostka urojona. Spektrum relaksacji wyznaczono na podstawie  $G'$  i  $G''$  wykorzystując metodę regulacji [7, 15].

## WYNIKI I Dyskusja

Największą wartość objętościowej ułamka fazy gazowej ( $\phi$ ) odnotowano w pianie wyjściowej – niezawierającej hydrokoloidu ( $0,95 \pm 0,02$ ). Zastosowanie dodatku w postaci pektyny spowodowało obniżenie ilości gazu zatrzymanego w fazie ciągłej do poziomu  $0,89 \pm 0,01$  i  $0,86 \pm 0,01$  odpowiednio dla stężenia pektyny 0,3 i 0,6%. Zjawisko wynika ze zwiększonej, w stosunku do piany niezawierającej hydrokoloidu, lepkości fazy ciekłej. Na skutek wzrostu lepkości obserwuje się zwiększoną w stosunku do piany wyjściowej trwałość układu (lepkościowy mechanizm stabilizacji pian) [21]. Obniżenie zawartości powietrza w pianach z hydrokoloidem wynika ze zwiększonej lepkości fazy ciągłej, z której została wytworzona. Jest ono również związane z większą wytrzymałością powstających pęcherzy, gdyż powstający w pierwszym etapie ubijania pęcherz trudniej rozbić na mniejsze. Ponadto wielkość cząsteczki hydrokoloidu i jej duże powinowactwo do wody powoduje, że ciągły film międzyfazowy jest grubszy niż w przypadku piany wyjściowej.

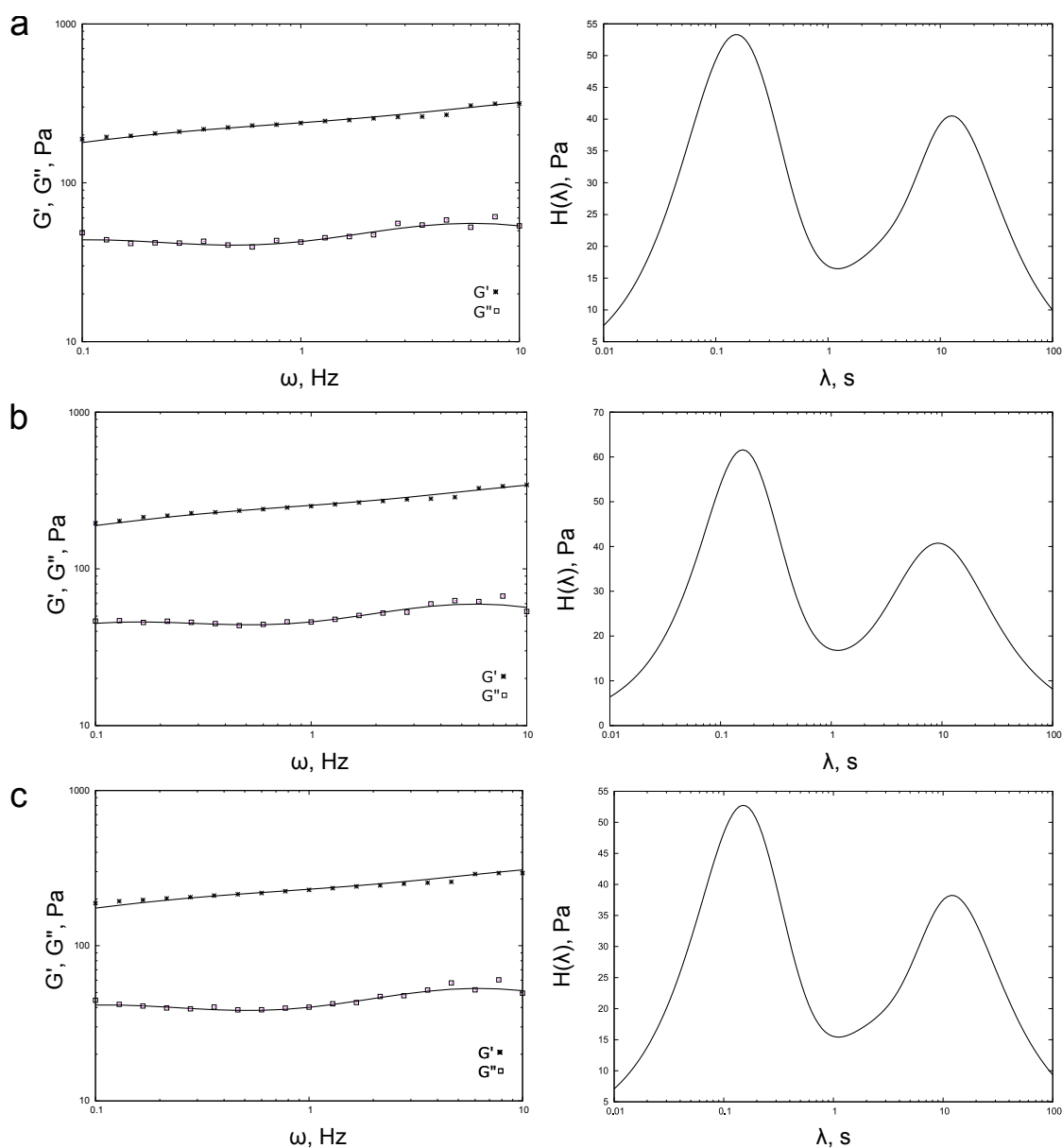
Na rysunku 1 przedstawiono histogramy. Stwierdzono, że w badanych pianach obecne są dwie populacje pęcherzy gazu o elipsoidalnym kształcie. Ich wielkość scharakteryzowano za pomocą długości osi wielkiej i małej. W pianie wyjściowej (niezawierającej hydrokoloidu) największe liczności pęcherzy odnotowano dla osi wielkich nieprzekraczających 0,1 mm i odpowiednio dla małych nieprzekraczających 0,05mm – populacja pierwsza. W tym obszarze widoczne jest znaczne skupienie punktów na wykresie. W przypadku drugiej populacji pęcherzy ich osie wielkie oscylują w granicach



Rys. 1. Histogramy osi pęcherzy pian: a – piana wyjściowa, b – piana z 0,3% P, c – piana z 0,6% P.

Rys. 1. Histograms of foam bubbles axis: a – initial foam, b – foam with 0,3% P, c – foam with 0,6% P.

Źródło: Badania własne



Rys. 2. Moduł magazynowania ( $G'$ ) i strat ( $G''$ ) w funkcji częstotliwości oraz widmo relaksacji ( $H(\lambda)$ ) badanych pian: a – piana wyjściowa, b – piana z 0,3% P, c – piana z 0,6% P.

Rys. 2. The storage module ( $G'$ ) and loss module ( $G''$ ) as frequency function of study foams: a – initial foam, b – foam with 0,3% P, c – foam with 0,6% P.

Źródło: Badania własne

od 1,5 do 2,0 mm, a małe od 1,0 do 1,5 mm. Większe zróżnicowanie rozmiarów zaobserwowano dla wielkich osi elips populacji pierwszej (większa liczba klas, poziomy histogram). Liczności otrzymanych populacji pęcherzy znacznie się różnią, gdyż w populacji drugiej, o wymiarach charakterystycznych większych niż w populacji pierwszej, liczności poszczególnych klas nie przekraczają 20 pęcherzy. Zastosowanie pektyny spowodowało zmianę rozkładu wielkości pęcherzy. Zarówno w przypadku użycia 0,3 jak i 0,6% dodatku pektyny zaobserwowano wzrost liczności populacji pęcherzy charakteryzujących się osiami wielkimi w zakresie 1,5-2,0 mm i małymi w zakresie 1,0-1,5mm. Liczności klas w tej populacji przekraczają 40, a więc są nawet dwa razy większe niż w przypadku piany wyjściowej. Pęcherze populacji o mniejszych rozmiarach, dla obu rozpatrywanych ilości pektyny, osiągają oś wielką na maksymalnym poziomie nieprzekraczającym 0,2 mm i oś małą poniżej 0,1 mm.

W obszarze plateau moduły magazynowania i strat w funkcji częstotliwości dla badanych układów spienionych kształtują się w sposób przedstawiony na rysunku 2. Świadczy to o wytworzeniu struktury przestrzennej. Przebieg  $G'$  i  $G''$  nie ulega zmianie na skutek zastosowania dodatku pektyny w ilości 0,3 i 0,6%. Można zauważyć niewielkie zmiany wartości modułów przy zastosowaniu pektyny w ilości 0,3%.

Na podstawie badań oscylacyjnych wyznaczono również widma relaksacji. Analiza uzyskanych wyników wykazała obecność jednego piksu o dwóch maksimach, które świadczą o istnieniu złożonych procesów relaksacyjnych. Wraz ze wzrostem stężenia pektyny intensywność czasów relaksacji ( $H(\lambda)$ ) rośnie a następnie maleje.

## WNIOSKI

1. Dodatek pektyny powoduje obniżenie zawartości fazy gazowej w badanych pianach. Uzyskane piany są jednak bardziej trwałe.
2. Zastosowanie pektyny powoduje wzrost wielkości pęcherzy gazu zatrzymanego w fazie ciągłej pian na bazie białka jaja kurzego.
3. W obszarze liniowej lepkości sprężystości badane układy spienione charakteryzują się złożonymi zachowaniami relaksacyjnymi.

## LITERATURA

- [1] **ABU-GHOUSH M., HERALD T. J., ARAMOUNI A. M. 2010.** *Comparative study of egg white protein and egg alternatives used in an angel food cake system.* Journal of Food Processing and Preservation, 34(2), 411-425.
- [2] **BALERIN C., AYMARD P., DUCEPT F., VASLIN S., CUVELIER G. 2007.** *Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams.* Journal of Food Engineering, 78, 802-809.
- [3] **FERRY J. D. 1980.** *Viscoelastic properties of polymers.*, New York, Wiley.
- [4] **INDRAWATI L., NARSIMHAN G. 2008.** *Characterization of protein stabilized foam formed in a continuous shear mixing apparatus.* Journal of Food Engineering 88, 456-465.
- [5] **LAU C. K., DICKINSON E. 2004.** *Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar.* Food Hydrocolloids, 19, 111-121.
- [6] **LAU C. K., DICKINSON E. 2007.** *Stabilization of aerated sugar particle systems at high sugar particle concentrations.* Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 301, 289-300.
- [7] **MAO R., TANG J., SWANSON B. G. 2000.** *Relaxation time spectrum of hydrogels by CONTIN analysis.* Journal of Food Science 65(3), 374-381.
- [8] **MIQUELIM J. N., DA SILVA LANNES S. C., MEZ-ZENGA R. 2010.** *pH influence on the stability of foams with protein-polysaccharide complexes at their interfaces.* Food Hydrocolloids, 24, 398-405.
- [9] **MIQUELIM J. N., DA SILVA LANNES S. C. 2009.** *Egg albumin and guar gum influence on foam thixotropy.* Journal of Texture Studies, 40(5), 623-636.
- [10] **MLEKO S., KRISTINSSON H. G., LIANG Y., GUSTAW W. 2007.** *Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment.* LWT—Food Science and Technology, 40, 908-914.
- [11] **MURRAY B. S. 2007.** *Stabilization of bubbles and foams.* Current Opinion in Colloid and Interface Science, 12, 232-241.
- [12] **PTASZEK P., ŻMUDZIŃSKI D., KRUK J., KACZMARCZYK K., ROŻNOWSKI W., BERSKI W. 2014.** *The physical and linear viscoelastic properties of fresh wet foams based on egg white proteins and selected hydrocolloids.* Food Biophysics, 9, 76-87.
- [13] **PTASZEK P. 2015.** *A geometrical interpretation of large amplitude oscillatory shear (LAOS) in application to fresh food foams.* Journal of Food Engineering 146, 53-61.
- [14] **SCHRAMM L. L. 2005.** *Emulsions, foams and suspensions: Fundamentals and applications,* Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA.
- [15] **TAN H., TAM K. C., JENKINS R. D. 2000.** *Relaxation spectra and viscoelastic behavior of a model hydrophobically modified alkalisoluble emulsion (HASE) polymer in salt/SDS solutions.* Journal of Colloid and Interface Science, 231, 52-58.
- [16] **THAKUR R. K., VIAL C., DJELVEH G. 2003.** *Influence of operating conditions and impeller design on the continuous manufacturing of food foams.* Journal of Food Engineering, 60, 9-12.
- [17] **TSCHOEGLN. W. 1989.** *The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior,* Berlin, Springer-Verlag.
- [18] **VACLAVIK V. A., CHRISTIAN E. W. 2008.** *Essentials of food science,* Third Edition, New York, Springer Science + Business Media. LLC.
- [19] **WILKINSON W. L. 1960.** *Non-newtonian fluids.* London, Pergamon Press.
- [20] **YANG X., FOEGEDING E. A. 2010.** *Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: Factors determining properties of wet and dry foams (cakes).* Food Hydrocolloids, 24, 227-238.
- [21] **ŻMUDZIŃSKI D., PTASZEK P., KRUK J., KACZMARCZYK K., ROŻNOWSKI W., BERSKI W., PTASZEK A., GRZESIK, M. 2014.** *The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins.* Journal of Food Engineering, 121, 128-134.