

MACIEJ NASTAJ

**WPLYW ZMIENNEGO CZASU UBIJANIA NA WŁAŚCIWOŚCI  
REOLOGICZNE PIAN OTRZYMANÝCH Z RÓŻNYCH  
PREPARATÓW BIAŁEK SERWATKOWYCH I SPROSZKOWANEJ  
ALBUMINY JAJA**

Streszczenie

Celem pracy była ocena właściwości reologicznych pian otrzymanych z trzech rodzajów preparatów białek serwatkowych i sproszkowanej albuminy jaja kurzego, w zależności od czasu ubijania. Właściwości reologiczne pian oceniono za pomocą reometru oscylacyjnego HAAKE RS 300. Wyznaczono wartości granicy płynięcia ( $\tau$ ), modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz wielkości kąta fazowego ( $E$ ) badanych próbek. Dokonano również wyznaczenia wydajności pienienia roztworów badanych preparatów. Właściwości reologiczne otrzymanych pian były zależne od rodzaju zastosowanego preparatu i czasu ubijania. Piany z albuminy cechowały się lepszymi właściwościami reologicznymi i wymagały krótszego czasu ubijania w porównaniu z pianami otrzymanymi z preparatów białek serwatkowych. W przypadku pian uzyskanych z preparatów białek serwatkowych wzrost czasu ubijania prowadził do systematycznego zwiększania się granicy płynięcia i wydajności pienienia. Z kolei zwiększanie czasu ubijania pian otrzymanych z albuminy prowadziło do zmniejszania wartości granicy płynięcia i wydajności pienienia. W przypadku pian otrzymanych z preparatów białek serwatkowych stwierdzono zależność liniową pomiędzy wartościami granicy płynięcia a czasem ich ubijania. W przypadku pian uzyskanych z izolatu białek serwatkowych (WPI) stwierdzono korelację pomiędzy granicą płynięcia a kątami fazowymi.

**Słowa kluczowe:** białka serwatkowe, albumina, piany, reologia

## Wprowadzenie

Białka są dość powszechnie używanymi składnikami funkcjonalnymi i służą do produkcji całej gamy produktów spożywczych. Szczególnie ich zdolność do pienienia dominują nad innymi właściwościami funkcjonalnych białek i zyskują coraz większe zainteresowanie ze strony badaczy [21].

Piany w technologii żywności są obecne w wielu produktach spożywczych, takich jak: chleby, ciasta, ciastka, nugaty, bezy, lody oraz różne wyroby piekarnicze. W wielu

przypadkach piana sama w sobie jest produktem, np. w postaci polewy do ciast. Innym przykładem mogą być bezy i ciastka w formie stałej. Piana do ich produkcji jest wytwarzana w odrębnym etapie procesu, a w kolejnych fazach poddaje się ją dalszemu przetwarzaniu, zanim produkt finalny będzie gotowy do spożycia. Poznanie zmiennych mechanizmów związanych z procesem powstawania, stabilizacji oraz właściwościami fizycznymi pian jest kluczowe dla przewidywania procesu oraz kontroli właściwości produktów spienionych. Dotychczas mechanizmy rządzące spienianiem białek nie są do końca poznane, zrozumiane i opisane [14].

Zastosowanie dostępnych na rynku preparatów białkowych, jako środków spieniających, ogranicza zakres pH oraz siła jonowa, co ma istotny wpływ na ich właściwości pianotwórcze. Zmienność procesu spieniania preparatów białkowych jest kolejnym ograniczeniem dla ich zastosowania. Dlatego też poznanie nowych technologii mających na celu poprawę właściwości pianotwórczych białek jest bardzo pożądane przez przemysł spożywczy [12].

Poznanie chemicznych i fizycznych mechanizmów spieniania białek spożywczych jest istotne z uwagi na konieczność produkowania pian o stałej i wysokiej jakości. Ponadto przetwórcy chcieliby mieć szeroki wybór składników do produkcji wyrobów napowietrzonych, czyli np. możliwość zastępowania białek jaja kurzego białkami mlecznymi [5].

Celem pracy było określenie wpływu czasu ubijania na właściwości reologiczne pian otrzymanych z preparatów białek serwatkowych oraz sproszkowanej albuminy jaja kurzego.

### **Material i metody badań**

Do badań użyto: izolatu białek serwatkowych (WPI) o zawartości białka 91,7 % (MILEI GmbH, Leutkirch, Niemcy), koncentratów białek serwatkowych (WPC 80 i WPC 65), zawierających odpowiednio: 75,4 % i 65,2 % białka (MILEI GmbH, Leutkirch, Niemcy) oraz sproszkowanej albuminy jaja kurzego (ALB) o zawartości 83,5 % białka (Ovopol, Nowa Sól).

Z preparatów białkowych przygotowano roztwory o stężeniu białka: 2, 6 i 10 % (m/v). Piany wytwarzano przez ubijanie 50 ml roztworu w zlewkach wysokościennych o pojemności 600 ml z zastosowaniem miksera Philips Essence. Każdą próbkę roztworu ubijano przez: 1, 2, 3 i 4 min.

Właściwości reologiczne pian badano przy użyciu reometru oscylacyjnego HAAKE RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy). Pomiarów granicy płynięcia dokonywano przy stałej prędkości ścinania wynoszącej  $0,01 \text{ s}^{-1}$  z zastosowaniem modułu pomiarowego vane. W teście oscylacyjnym określano liniowy zakres lepkości przystośći badanych pian przy częstotliwości 1 Hz i zakresie odkształcenia 0,002 - 0,05 %. Określano również wartości modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ )

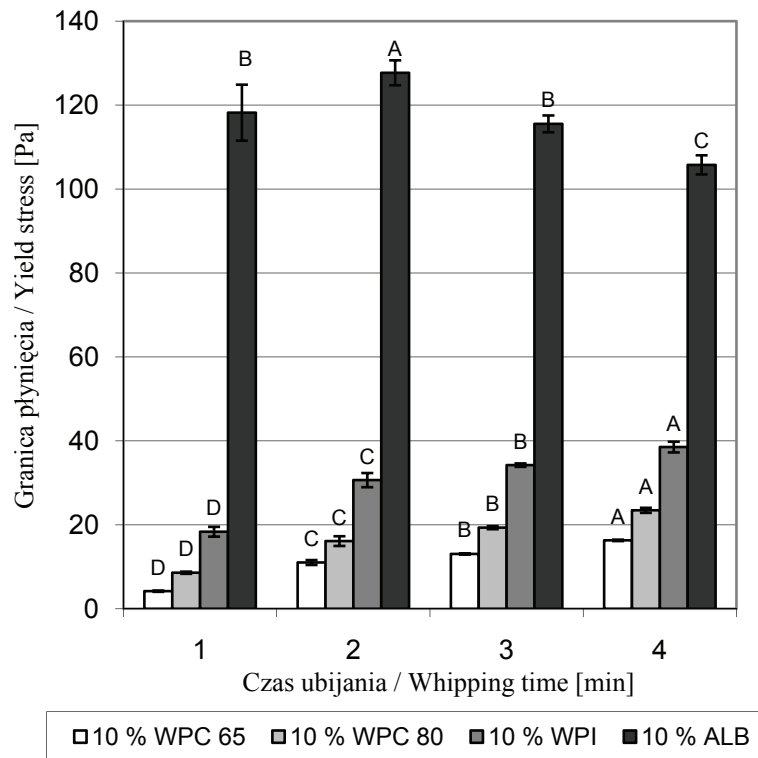
oraz wielkości kąta fazowego ( $E$ ) przy zakresie częstotliwości drgań 0,1 - 10,00 Hz i przy odkształceniu wynoszącym 0,003 %. Każdą próbkę piany analizowano w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki rejestrowano komputerowo, wykorzystując program RheoWin Pro (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy).

Pomiarów wydajności pienienia ( $\Phi$ ) roztworów białek dokonano zgodnie z wcześniej stosowaną metodyką [2].

### Wyniki i dyskusja

Na rys. 1. przedstawiono wartości granicy płynięcia ( $\tau$ ) pian otrzymanych z 10 % roztworów badanych preparatów. Największe wartości  $\tau$  stwierdzono w przypadku najwyższych stężeń (10 %), a przy stężeniach niższych wartości te ulegały systematycznemu zmniejszeniu. Zwiększanie stężenia preparatu białkowego prowadzi do wzrostu  $\tau$  uzyskanych pian. Wiąże się to prawdopodobnie z faktem zwiększania ilości materiału aktywnego powierzchniowo w układzie i większej ilości białkowych powłok międzyfazowych [14]. Piany z albuminy (ALB) wykazywały największe wartości  $\tau$ , zwłaszcza ze zwiększaniem czasu ubijania z 1 do 2 min, dalsze zwiększanie czasu procesu prowadziło do zmniejszenia  $\tau$ . Halling [8] i Kinsella [9], badając właściwości pianotwórcze albuminy, zdefiniowali mechanizm odpowiedzialny za spadek sztywności pian po przedłużonym czasie ubijania. Zjawisko „przebicia” prowadzi do powstania nierozpuszczalnych agregatów białek na granicy faz, które mają mniejszą zdolność utrzymywania wody, co objawia się zmniejszeniem sztywności i objętości piany [17]. Piany uzyskane z preparatów WPI, WPC 80 i WPC 65 wykazały mniejsze wartości  $\tau$  od pian z ALB. Pernel i wsp. [14] stwierdzili we wcześniejszych badaniach, że czas ubijania istotnie wpływa na wartości granicy płynięcia, wydajności pienienia oraz stabilność pian. Można zakładać, że różnice wartości  $\tau$  pian z albuminy i izolatu białek serwatkowych mogą wynikać z różnic w budowie i właściwościach obu preparatów. Albumina cechuje się większą liczbą hydrofobowych grup sulfhydrylowych w porównaniu z białkami obecnymi w WPI, których liczba bezpośrednio determinuje jej właściwości powierzchniowe [3, 4, 11, 14].

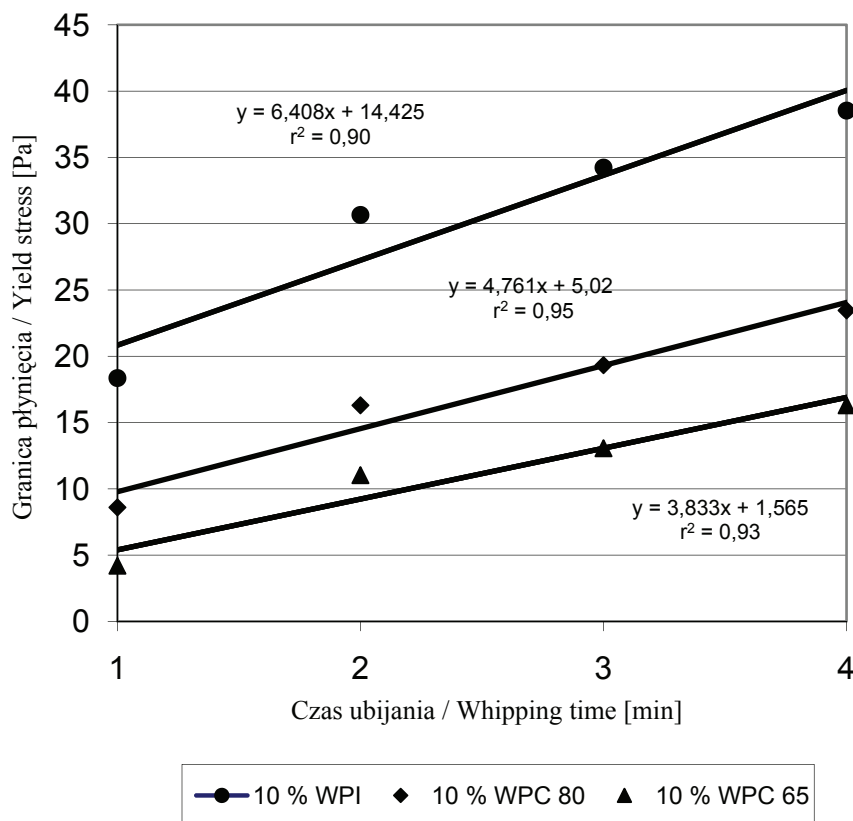
Spośród preparatów białek serwatkowych piany uzyskane z WPI cechowały się najwyższymi, z WPC 80 mniejszymi, a z WPC 65 najmniejszymi wartościami  $\tau$ . Koncentrat WPC 80 zawierał większe, a WPC 65 największe ilości laktozy w stosunku do pian z WPI. Luck i wsp. [10] stwierdzili, że wzrost zawartości laktozy w roztworze WPI prowadził do zmniejszenia  $\tau$  uzyskanych pian. Właściwości pianotwórcze białek ulegają zmianie, gdy są one obecne w mieszaninie z innymi składnikami niebiałkowymi tj. cukrami [13, 20].



Rys. 1. Wpływ rodzaju preparatu i czasu ubijania na wartości granicy płynięcia pian uzyskanych z 10 % roztworów białek.

Fig. 1. Effect of preparation type and whipping time on yield stress values of foams produced from 10 % protein solutions.

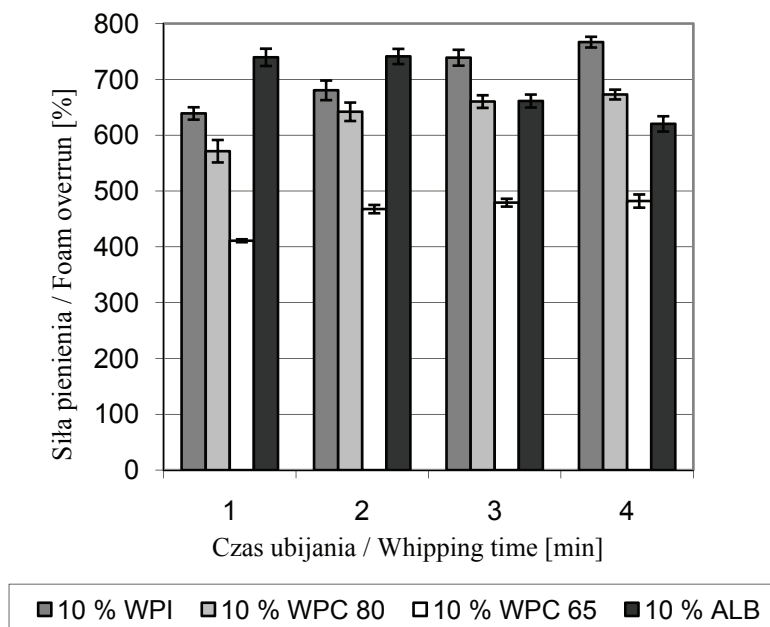
W przypadku pian otrzymanych z WPI, WPC 80 i WPC 65 stwierdzono liniową zależność pomiędzy wartościami granicy płynięcia pian i czasem ubijania roztworów białek (rys. 2), o czym świadczą wysokie współczynniki determinacji  $r^2$  w zakresie 0,90 - 0,95.



Rys. 2. Zależność między czasem ubijania roztworów WPI, WPC 80 i WPC 65 o stężeniu 10 % białka a wartościami granicy płynięcia uzyskanych pian.

Fig. 2. Linear relationship between whipping time of 10 % WPI, WPC 80, and WPC 65 solutions and foam yield stress values.

Na rys. 3. przedstawiono wartości wydajności pienienia ( $\Phi$ ) pian otrzymanych z 10 % roztworów badanych preparatów. Największe wartości  $\Phi$  stwierdzono w przypadku pian otrzymanych z albuminy. Pernell i wsp. [14] stwierdzili, że ilość powietrza znajdującego się w pianie jest zależna od stężenia białka w roztworze i czasu ubijania. Piany uzyskane z preparatów białek serwatkowych WPI, WPC 80 i WPC 65 cechowały się mniejszymi wartościami wydajności pienienia. Pernell i wsp. [15] otrzymali równe lub wyższe wartości wydajności pienienia roztworów albuminy w porównaniu z roztworami WPI. W niniejszej pracy, w przypadku roztworów albuminy największe wartości  $\Phi$  uzyskano po pierwszej i drugiej minucie ubijania, dalsze zwiększanie czasu



Rys. 3. Wpływ rodzaju preparatu i czasu ubijania na wartości wydajności pienienia 10 % roztworów otrzymanych z badanych preparatów białkowych.

Fig. 3. Effect of preparation type and whipping time on foam overrun values of 10 % solutions produced from protein preparations under analysis.

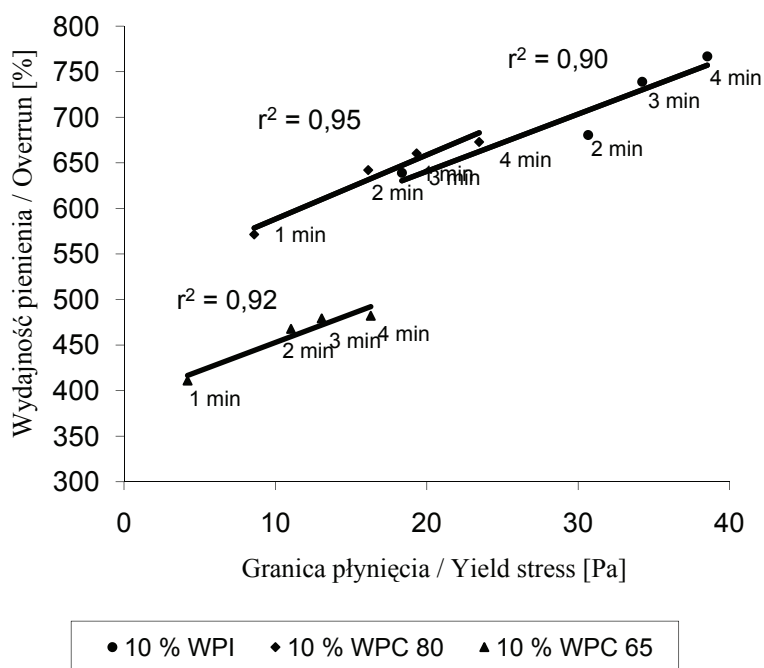
Tabela 1

Wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz kąta fazowego ( $E$ ) 10 % pian uzyskanych z roztworów WPI i ALB, determinowane czasem ubijania.

Values of storage modulus ( $G'$ ), loss modulus ( $G''$ ), and phase angle ( $E$ ) of 10 % foams produced from ALB and WPI as determined by whipping time.

Czas ubijania Whipping time [min]	WPI			ALB		
	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$E$ (°)	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$E$ (°)
1	390,5 <sup>D</sup> ±24,9	169,0 <sup>A</sup> ±13,1	19,79 <sup>A</sup> ±0,18	947,3 <sup>B</sup> ±19,9	195,3 <sup>D</sup> ±1,76	12,01 <sup>B</sup> ±0,04
2	425,6 <sup>C</sup> ±39,0	165,3 <sup>A</sup> ±20,8	18,29 <sup>B</sup> ±0,54	1076 <sup>A</sup> ±31,8	258,9 <sup>A</sup> ±14,7	12,29 <sup>A</sup> ±0,34
3	501,3 <sup>B</sup> ±42,9	160,2 <sup>B</sup> ±10,9	14,71 <sup>C</sup> ±0,12	1049 <sup>A</sup> ±12,9	227,0 <sup>B</sup> ±1,97	12,05 <sup>B</sup> ±0,07
4	571,6 <sup>A</sup> ±0,77	159,7 <sup>B</sup> ±5,4	13,13 <sup>D</sup> ±0,48	1004 <sup>A</sup> ±23,9	213,5 <sup>C</sup> ±5,8	12,16 <sup>A</sup> ±0,01

ubijania prowadziło do obniżenia wartości tego parametru. W przypadku roztworów WPI, WPC 80 i WPC 65 zwiększanie czasu ubijania prowadziło do stopniowego wzrostu  $\Phi$ . Piany otrzymane z WPI wykazały największe, z WPC 80 mniejsze, a z WPC 65 najmniejsze wartości  $\Phi$ . Zwiększenie wartości  $\Phi$  wraz ze wzrostem czasu ubijania tłumaczy się większym nakładem energii dostarczonej do układu, który powoduje większą inkorporację powietrza [10, 14, 15].



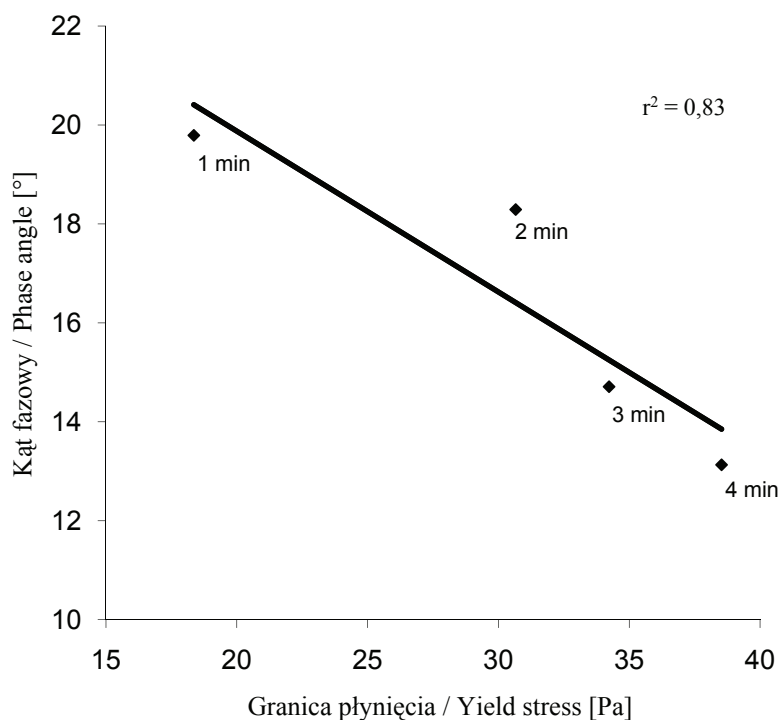
Rys. 4. Zależność pomiędzy wydajnościami pienienia a granicami płynięcia 10 % pian uzyskanych z roztworów WPI, WPC 80 i WPC 65.

Fig. 4. Relationship between overrun and yield stress values for 10 % foams produced from WPI, WPC 80, and WPC 65 solutions.

Na rys. 4. przedstawiono zależność pomiędzy wydajnością pienienia a wartościami granicy płynięcia badanych pian białkowych. W przypadku pian otrzymanych z WPI, WPC 80 i WPC 65 stwierdzono wysokie współczynniki determinacji  $r^2$ , które wyniosły odpowiednio: 0,90, 0,95 i 0,92. Luck i wsp. [10] oraz Foegeding i wsp. [6] określili podobną zależność w przypadku pian otrzymanych z WPI. Również wcześniejsze badania dowodzą istnienia korelacji związanej ze wzrostem udziału fazy gazowej w pianie, która powoduje wzrost wartości  $\tau$  [1, 16, 22].

Wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz kątów fazowych pian w istotnym stopniu zależały od rodzaju preparatu białkowego i czasu ubijania (tab. 1). Piany o stężeniu 10 % białka i z roztworu albuminy cechowały się większymi

wartościami modułów  $G'$  i  $G''$  od pian uzyskanych z roztworów WPI. Mleko i wsp. [12] oraz Gunasekaran i Ak [7] stwierdzili, że piany utworzone z albuminy jaja kurzego podczas przeprowadzenia testów oscylacyjnych wykazywały właściwości reologiczne podobne do wysoce elastycznych materiałów, jak żele. Również Sołowiej i wsp. [18] stwierdzili poprawę właściwości reologicznych stałych produktów mleczarskich przy zastosowaniu dodatku preparatów białek serwatkowych. W przypadku pian uzyskanych z WPI, wraz ze wzrostem czasu ubijania stwierdzono zmniejszenie wartości kątów fazowych, co oznacza wzrost elastycznego charakteru próbki [12, 19].



Rys. 5. Zależność między wartościami granicy płynięcia i kątami fazowymi dla pian o stężeniu 10 % białka otrzymanych z roztworów WPI w zmiennym czasie ubijania.

Fig. 5. Relationship between yield stress and phase angle values for foams of 10 % protein concentration produced from WPI preparations during varying times of whipping.

Na rys. 5. przedstawiono zależność między wartością kąta fazowego a wartością granicy płynięcia pian otrzymanych z WPI w zmiennym czasie ubijania ( $r^2 = 0,83$ ). W przypadku pozostałych preparatów nie stwierdzono zależności między tymi dwoma wielkościami fizykochemicznymi. Im mniejszy jest kąt fazowy, tym układ jest bardziej elastyczny, wobec czego piana będzie bardziej podatna na elastyczne rozciąganie.



Wzrost siły działającej na próbkę, wynikający z obrotu układu pomiarowego, powoduje rozciąganie się próbki piany i układ jest w zakresie linowej lepkości sprężystości. Tak, więc w bardziej elastycznych pianach (mniejszy kąt fazowy) nastąpi zerwanie elastycznych połączeń przy większej wartości siły, czyli przy wyższej wartości  $\tau$ .

### Wnioski

1. Rodzaj zastosowanego preparatu i czas ubijania istotnie wpływał na parametry reologiczne otrzymanych pian białkowych.
2. W przypadku pian otrzymanych z białek serwatkowych wzrost czasu ubijania prowadzi do poprawy ich właściwości reologicznych.
3. Obok albuminy jaja kurzego, preparaty białek serwatkowych mogą być z powodzeniem stosowane w technologii żywności jako czynnik spieniający.

### Literatura

- [1] Calvert J.R., Nezhati K.: Bubble size effects in foams. *International J. Heat Fluid Flow*, 1987, **8**, 102-106.
- [2] Campbell G.M., Mougeot E.: Creation and characterization of aerated food products. *Trends Food Sci. Technol.*, 1999, **10**, 283-296.
- [3] Davis J.P., Foegeding E.A.: Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2007, **54**, 200-210.
- [4] Davis J.P., Foegeding E.A.: Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *J. Food Sci.*, 2004, **69** (5), 404-410.
- [5] Foegeding E. A., Luck P. J., Davis J.P.: Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocoll.*, 2006, **20**, 284-292
- [6] Foegeding E.A., Li L.H., Pernell C.W., Mleko S.: A comparison of the gelling and foaming properties of whey and egg proteins. In: *Hydrocolloids. Part 1*, Elsevier Science, B.V., 2000, pp. 357-366.
- [7] Gunasekaran S., Ak M.M.: Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Food Sci. Technol.*, 2000, **11**, 115-127.
- [8] Halling P.J.: Protein-stabilized foams and emulsions. *CRC Critical reviews. Food Sci. Nutr.*, 1981, **15**, 155-203.
- [9] Kinsella J.E.: Physicochemical and functional properties of milk proteins. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1984, **21**, 197.
- [10] Luck P.J., Bray N., Foegeding E.A.: Factors determining yield stress and overrun of whey protein foams. *JFS: Food Chemistry and Toxicology*, 2001, **69** (5), 1667-1861.
- [11] Mine Y.: Recent advances in understanding of egg white protein functionality. *Trends Food Sci. Technol.*, 1995, **6**, 225-232.
- [12] Mleko S., Kristinsson H.G., Liang Y., Gustaw W.: Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2007, **40**, 908-914.
- [13] Murray B. S.: Stabilization of bubbles and foams. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2007, **12**, 232-241.
- [14] Pernell C.W., Foegeding E.A., Luck P.J., Davis J.P.: Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2002, **204**, 9-21.

- [15] Pernell C.W., Foegeding E.A., Daubert C.R.: Measurement of the yield stress of protein foams by vane rheometry. *J. Food Sci.*, 2000, **65** (1), 110-114.
- [16] Princen H.M.: Rheology of foams and highly concentrated emulsions II. Experimental study of the yield stress and wall effects for concentrated oil-in-water emulsions. *J. Coll. Interface Sci.*, 1985, **105**, 150-171.
- [17] Raikos V., Campbell L., Euston R.S.: Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Res. Int.*, 2007, **40**, 347-355.
- [18] Sołowiej B., Gustaw W., Nastaj M.: Wpływ dodatku koncentratów białek serwatkowych na właściwości reologiczne analogów serów topionych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **5** (60), 226-234.
- [19] Tabilo-Munizaga G., Barbosa-Canovas G.V.: Rheology for the food industry. *J. Food Eng.*, 2005, **67**, 147-156.
- [20] Thakur R.K., Vial Ch., Djelveh G.: Effect of pH of food emulsions on their continuous foaming using a mechanically agitated column. *Innovative Food Sci. Emerging Technologies*, 2007, **7**, 203-210.
- [21] Yankov S., Panchev I.: Foaming properties of sugar-egg mixtures with milk protein concentrates. *Food Res. Int.*, 1996, **29**, 521-525.
- [22] Yoshimiura A.S., Prud'homme R.K., Princen H.M., Kiss A.D.: A comparison of techniques for measuring yield stresses. *J. Rheol.*, 1987, **31**, 699-710.

**EFFECT OF CHANGING WHIPPING TIME ON RHEOLOGICAL PROPERTIES  
OF FOAMS PRODUCED FROM VARIOUS WHEY PROTEIN PREPARATIONS  
AND POWDERED EGG ALBUMIN**

S u m m a r y

The objective of this paper was to assess the effect of whipping time on rheological properties of foams produced from various types of whey protein preparations and from egg albumin. Rheological properties of the analyzed foams were assessed using an oscillatory ThermoHaake RS 300 rheometer. The following rheological parameters of the samples studied were determined: yield stress ( $\tau$ ), storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ) moduli, and phase angle ( $E$ ) values. For each protein solution of the preparations investigated, values of foam overrun ( $\Phi$ ) were also determined. Rheological properties of the analyzed foams depended on the type of preparation used and on the whipping time. The egg albumin foams exhibited better rheological properties and required a shorter whipping time compared to the foams produced from whey protein preparations. As for the foams produced from whey protein preparations, the increase in the whipping time resulted in a systematic increase in both the yield stress and the whipping overrun. As for the egg albumin foams, the increase in their whipping time caused the yield stress and overrun to decrease. In the case of foams produced from whey protein preparations, a linear relationship between the yield stress values and whipping times was found. As for the whey foams (WPI), a correlation was found between the yield stress and the phase angle values.

**Key words:** whey proteins, albumin, foams, rheology ☒