

MACIEJ NASTAJ

## WPLYW CHLORKU SODU NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE PIAN OTRZYMANYCH Z ALBUMINY WYSOKO PIENISTEJ

### Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu dodatku chlorku sodu na właściwości reologiczne pian otrzymanych ze sproszkowanej albuminy wysoko pienistej. Z preparatu białkowego użytego do badań przygotowano roztwory o stężeniu białka: 2, 6 i 10 % (m/v). Zastosowano następujące stężenia molowe roztworów soli [mM]: 60, 120, 240 i 480. Piany wytwarzano przez ubijanie 50 ml roztworu w zlewkach wysokociennych o pojemności 600 ml przy użyciu miksera Philips Essence. Czas ubijania każdej próbki roztworu wynosił 2 min.

Właściwości reologiczne pian badano przy użyciu reometru oscylacyjnego HAAKE RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy). Pomiary granicy płynięcia ( $\tau_0$ ) wykonywano przy stałej prędkości ścinania wynoszącej  $0,01 \text{ s}^{-1}$  zastosowaniem modułu pomiarowego vane oraz układu dwóch płytek równoległych. W teście oscylacyjnym określono liniowy zakres lepkości badanych pian przy częstotliwości 1 Hz i zakresie odkształcenia 0,002 - 0,05 %. Określono również wartości modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz wielkość kąta przesunięcia fazowego ( $\delta$ ) przy zakresie częstotliwości drgań 0,1 - 10,00 Hz i przy odkształceniu wynoszącym 0,003 %. Pomiary wykonywano w trzech powtórzeniach. Wyznaczono także wydajność pienienia roztworów badanych preparatów.

Właściwości reologiczne otrzymanych pian były zależne od stężenia zastosowanego preparatu i stężenia NaCl. Piany otrzymane z roztworów o największym stężeniu białka cechowały się najlepszymi właściwościami reologicznymi. Wzrost stężenia molowego NaCl do wartości 120 mM w badanych roztworach białek prowadził do systematycznego zwiększania się granicy płynięcia i wydajności pienienia. Z kolei dalsze zwiększanie stężenia soli prowadziło do zmniejszenia wartości wyżej wymienionych parametrów, co świadczy o pogorszeniu się właściwości reologicznych badanych pian.

**Słowa kluczowe:** albumina, NaCl, piany, właściwości reologiczne

### Wprowadzenie

Pienienie się jest zjawiskiem, które umożliwia wytwarzanie unikalnej struktury i tekstury żywności w procesach technologicznych. Głównie białkom, jak albumina jaja kurzego i preparaty białek serwatkowych, przypisuje się zdolność do tworzenia

i stabilizacji pian spożywczych [1]. Różnice między tymi białkami przejawiają się w zakresie właściwości reologicznych powstałych z nich żeli i zdolności pienia się. Może to wynikać z różnic w strukturze i sekwencji białek obecnych w tych preparatach [8].

Piany definiuje się jako układ ciągły lub stały, w którym rozproszony jest gaz. Piany w technologii żywności są obecne w wielu produktach spożywczych, takich jak: ciasta, ciastka, nugaty, bezy, lody oraz różne wyroby piekarnicze [21].

Zastosowanie dostępnych na rynku preparatów białkowych, jako środków spienających, jest uzależnione od zakresu pH oraz siły jonowej, co ma istotny wpływ na ich właściwości pianotwórcze. Zmienność procesu spieniania preparatów białkowych jest kolejnym ograniczeniem ich zastosowania. Dlatego też opracowywanie nowych technologii mających na celu poprawę właściwości pianotwórczych białek jest korzystne dla przemysłu spożywczego [18].

Proces napowietrzania żywności może również wpływać korzystnie na poprawę właściwości odżywczych produktu poprzez zmianę jego przyswajalności. Korzyść wynikająca z napowietrzania żywności dotyczy tekstury, w przypadku produktów płynnych, jak lody i musy, gdyż zyskują one nowe cechy, takie jak: gładkość czy płynność. Produkty stałe z kolei nabierają cech lekkości i kruchości. Napowietrzanie produktów również prowadzi do nadania atrakcyjnych cech estetycznych takim produktom, jak: chleb, czekolada, piwo i wino. Napowietrzane produkty cechują się lepszą żuwalnością, a obecność pęcherzyków powietrza zapewnia lepszy rozkład substancji odpowiedzialnych za smakowitość. Proces napowietrzania zmienia charakter reologiczny produktów, poprzez umożliwienie przejścia płynnych składników w stałe, co przyczynia się do nadania produktom spożywczych atrakcyjnych kształtów [1, 20].

Celem pracy było określenie wpływu dodatku NaCl na właściwości reologiczne i wydajność pienia wysoko pienistej sproszkowanej albuminy.

### **Material i metody badań**

Do badań użyto sproszkowanej wysoko pienistej albuminy jaja o zawartości 83,5 % białka (Ovopol, Nowa Sól) oraz NaCl (POCH, Gliwice).

Z preparatu białkowego przygotowano roztwory o stężeniu białka [% (m/v)]: 2, 6 i 10. Do rozpuszczenia preparatów białkowych zastosowano wodne roztwory NaCl o stężeniach [mM]: 60, 120, 240, 480. Próbami odniesienia były roztwory preparatów natywnych bez modyfikacji stężenia molowego soli. Piany wytwarzano przez ubijanie 50 ml roztworu w zlewkach wysokościennych o pojemności 600 ml z użyciem miksera Philips Essence. Każdą próbkę roztworu ubijano przez 2 min.

Właściwości reologiczne pian badano przy użyciu reometru oscylacyjnego HAAKE RS 300 (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy). Pomiar granicy płynięcia wykonywano przy stałej prędkości ścinania wynoszącej  $0,01 \text{ s}^{-1}$  z zastosowaniem cztero-

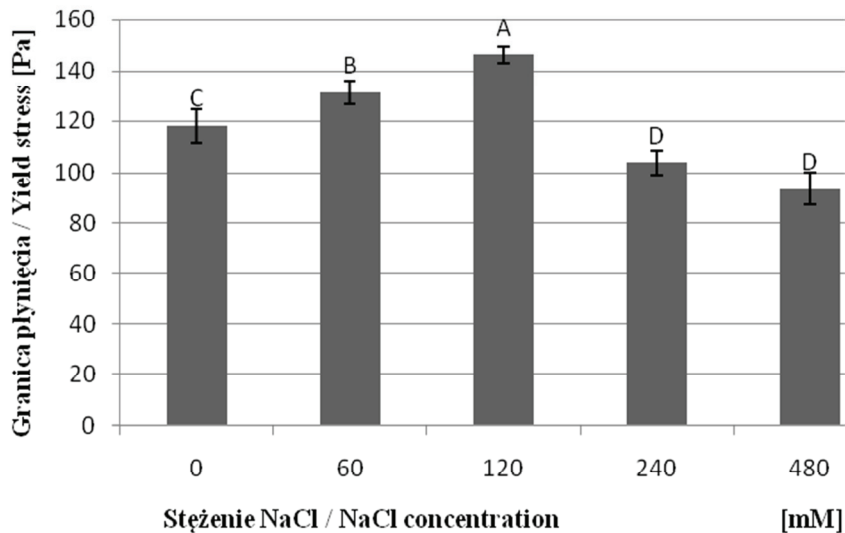
łopatkowego modułu pomiarowego vane oraz układu dwóch płytek równoległych o średnicy 34 mm w szczelinie 1 mm. W teście oscylacyjnym określano liniowy zakres lepkości badanych pian przy częstotliwości 1 Hz i zakresie odkształcenia 0,002 - 0,05 %. Określano również wartości modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz kąta przesunięcia fazowego ( $\delta$ ) 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, używając programu RheoWin Pro (ThermoHaake, Karlsruhe, Niemcy).

Pomiary wydajności pienienia ( $\Phi$ ) roztworów białek wykonywano zgodnie z wcześniej stosowaną metodyką [1].

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej przy użyciu oprogramowania Statistical Analysis System (SAS Enterprise Guide 3.0.3.414). Istotność różnic między wartościami średnimi weryfikowano metodą ANOVA z zastosowaniem analizy wariancji i testu Studenta-Newmana-Keulsa.

## Wyniki i dyskusja

Na rys. 1. przedstawiono wartości granicy płynięcia ( $\tau_0$ ) pian otrzymanych z 10 % roztworów badanego preparatu. Największe wartości  $\tau_0$  stwierdzono w przypadku najwyższych stężeń (10 %), a przy stężeniach niższych wartości te ulegały systematycznemu zmniejszeniu. Zwiększanie stężenia preparatu białkowego prowadziło do wzrostu  $\tau_0$  uzyskanych pian. Jest to prawdopodobnie związane ze zwiększaniem ilości materiału aktywnego powierzchniowo w układzie i większej ilości białkowych powłok międzyfazowych [21]. W literaturze przedmiotu wskazywano na możliwość poprawy właściwości reologicznych pian białkowych poprzez zastosowanie różnych soli. Wyższe wartości  $\tau_0$  autorzy tłumaczą modyfikacją międzyfazowych właściwości powłoki białkowej oraz agregacją białek [5]. Według Lucka i wsp. [14] zwiększanie  $\tau_0$  zachodzi pod wpływem oddziaływania jonów przeciwnych na ujemne cząsteczki białka, co zmniejsza barierę elektrostatyczną i mogą się one łatwiej absorbować na granicy faz. Autorzy analizowali wpływ NaCl na właściwości pianotwórcze izolatu białek serwatkowych (WPI) i stwierdzili, że zwiększenie stężenia NaCl w roztworach WPI prowadziło do zwiększenia wartości granicy płynięcia oraz wydajności pienienia  $\beta$ -laktoglobuliny. Sugerowali oni, że sól wpływa na zmianę międzyfazowych właściwości reologicznych powłoki białkowej oraz przyczynia się do agregacji białek. Zauważyli także, że przy stężeniu NaCl większym niż 100 mM, podwójna warstwa jonów otaczających cząsteczki koloidalne białka jest zbyt mała i nie jest w stanie zapewnić stabilnej ochrony przed zjawiskiem agregacji cząsteczek białek. To zmniejsza barierę elektrostatyczną i cząsteczki białka mogą się absorbować na granicy faz [6, 7, 14].



Objaśnienie: / Explanatory note:

Wartości średnie oznaczone różnymi literami na wykresie różnią się statystycznie istotnie przy poziomie istotności  $p \leq 0,05$  / Mean values denoted by different letter in the chart differ statistically significantly at  $p \leq 0.05$ .

Rys. 1. Wpływ stężenia NaCl na wartość granic płynięcia, zmierzonych przy użyciu modułu vane pian otrzymanych z 10 % roztworów albuminy.

Fig. 1. Effect of NaCl concentration on yield stress values measured using vane tool for foams produced from 10 % albumin solutions.

Murray [19] sugeruje, że wartości granicy płynięcia pian ciekłych są związane z powstaniem powłok białkowych o określonych wartościach elastyczności dylatacyjnych. Podkreśla się również znaczenie czystości preparatu i obecności różnych składników dodanych do układu, jak np. cukrów; właściwości pianotwórcze białek ulegają bowiem zmianie, gdy są one obecne w mieszaninie z innymi składnikami niebiałkowymi [28].

Wzrost stężenia molowego NaCl w zakresie 0 - 120 mM powodował wzrost wartości  $\tau_0$ , przy wartości 120 mM zarejestrowano najwyższą wartość granicy płynięcia. Z kolei dalsze zwiększanie stężenia molowego NaCl (240 - 480 mM) powodowało systematyczne zmniejszanie  $\tau_0$ . Damodaran i wsp. [3] zdefiniowali negatywny wpływ działania chlorku sodu i innych soli na pienistość i stabilność pian z albuminy jaja kurzego i przypisywali go zahamowaniu adsorpcji powierzchniowej lizozymu i zmianom w powłokach białkowych na granicy faz. Należy również wspomnieć, że analizowany preparat jest suszonym białkiem jaja, który sam w sobie zawiera pewną ilość jonów metali. Zatem w tym przypadku, zwiększenie stężenia molowego NaCl może wywo-

ływać pogorszenie właściwości reologicznych badanych pian pod wpływem efektu wysalania białek albuminy.

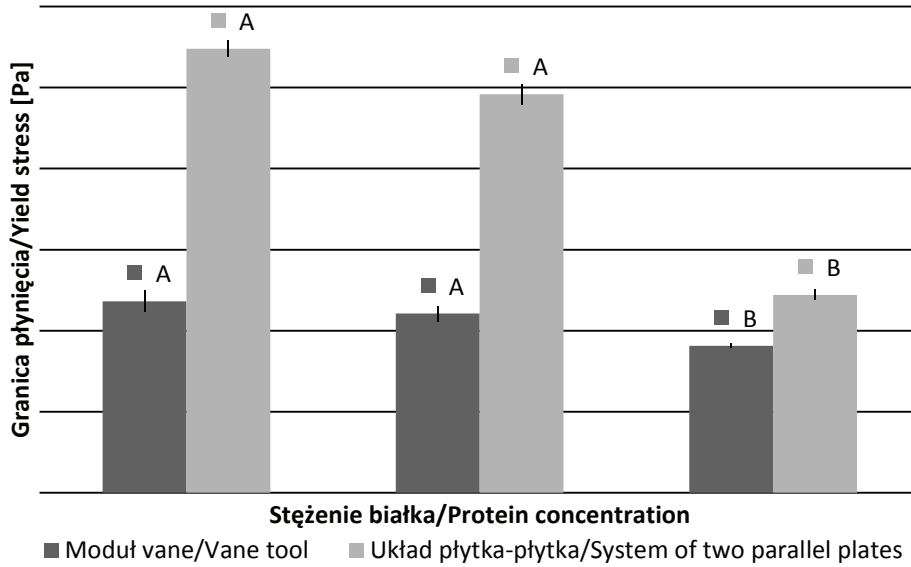
Właściwości pianotwórcze białka jaja kurzego są wynikiem wzajemnych oddziaływań między pięcioma frakcjami białek, które są w nim obecne [16, 23]. Duże znaczenie ma fakt, że właściwości pianotwórcze poszczególnych frakcji białka jaja kurzego są słabe w porównaniu z ich mieszaniną, co powoduje, że specyficzne oddziaływania międzybiałkowe pełnią ważną rolę w tym układzie. Stwierdzono, że elektrostatyczne oddziaływania pomiędzy pozytywnie naładowanym lizozymem a innymi białkami naładowanymi ujemnie prowadzą do stabilizowania pian [2].

Pomiar właściwości reologicznych pian z zastosowaniem tych metod badawczych może być również uzupełnieniem dla zespołu oceniającego, przeprowadzającego analizę sensoryczną produktów napowietrzonych [18]. Tabilo-Munizaga i Barbosa-Canovas [27] stwierdzili, że pomiar granicy płynięcia przy użyciu modułu vane był bardzo dobrą metodą odniesienia dla panelu sensorycznego, który oceniał twardość jogurtów.

Analizując wartości  $\tau_0$  pian zmierzonych dwiema metodami (rys. 2) można zauważyć, że w przypadku wszystkich próbek uzyskano wyższe wartości  $\tau_0$  przy zastosowaniu metody w układzie płytek równoległych w porównaniu z modułem vane. Według Pernela i wsp. [22] badanie granicy płynięcia pian z użyciem modułu vane jest metodą, w której piana zostaje swobodnie ułożona w cylindrze, zatem ściskanie próby podczas pomiaru nie następuje. W przypadku zastosowania płytek równoległych, próbka piany jest intensywnie ściskana w momencie ustawiania się szczeliny pomiarowej, co być może powoduje niszczenie jej struktury i wpływa na różnicę pomiędzy wartościami granicy płynięcia mierzonej tymi metodami. Możliwe jest, że zmiany właściwości reologicznych i granicy płynięcia pian odzwierciedlają czułość metody na procesy wywołujące niestabilność piany (odciek grawitacyjny, dysproporcjonowanie) mających charakter lokalny, które nie zostają stwierdzone przez zmianę właściwości roztworu [22].

Procesy te mogą prowadzić do miejscowych zmian frakcji fazy powietrznej oraz średniego rozmiaru pęcherzyków. Dodatkowo, obniżenie napięcia międzyfazowego ze względu na przegrupowanie się białek na granicy faz powietrze – woda również przyczynia się do zmniejszenia granicy płynięcia [21].

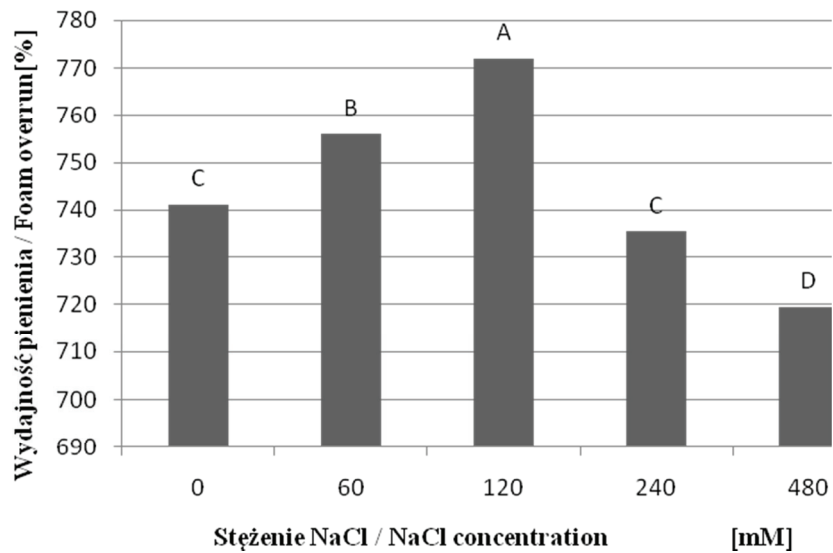
Na rys. 3. przedstawiono wartości wydajności pienienia ( $\Phi$ ) 10 % roztworów badanego preparatu. Największe wartości  $\Phi$  stwierdzono przy najwyższym stężeniu (10 %), w przypadku stężeń niższych wartości te ulegały systematycznemu zmniejszeniu. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wartość  $\Phi$  w istotnym stopniu zależała również od stężenia NaCl w roztworze. Wzrost stężenia NaCl w zakresie (0 - 120 mM) powodował stopniowy wzrost  $\Phi$  uzyskanych pian i przy 120 mM parametr ten osiągnął wartość maksymalną. Zwiększanie stężenia NaCl do poziomu (240 - 480 mM) powodowało zmniejszenie wydajności pienienia. Najmniejsze wartości  $\Phi$  stwierdzono w przypadku natywnych roztworów białek bez modyfikacji stężenia NaCl.



Objaśnienie jak na rys. 1. / Explanatory note as in Fig. 1.

Rys. 2. Wartość granic płynięcia, zmierzonych za pomocą modułu vane i układu płytek równoległych.

Fig. 2. Yield stress values measured using vane tool and parallel plates method.



Objaśnienie jak na rys. 1. / Explanatory note as in Fig. 1.

Rys. 3. Wpływ stężenia NaCl na wydajność pienienia 10 % roztworów albuminy.

Fig. 3. Effect of NaCl concentration on overrun value of 10 % albumin solutions.

Raikos i wsp. [24] stwierdzili, że dodatek NaCl do roztworów izolowanej albuminy powoduje zwiększenie ich właściwości pianotwórczych, czego odzwierciedleniem jest większa wydajność pienienia badanych pian w porównaniu z próbą kontrolną. Małe ilości dodatnich jonów mogą znacznie zwiększyć ilość zaadsorbowanych na granicy faz białek (naładowanych ujemnie) poprzez reakcje mostkowania elektrostatycznego, co wiąże się z poprawą ich właściwości pianotwórczych [7, 29]. W przypadku parakazeiny również sole oraz modyfikacja pH mają istotny wpływ na jej agregację, co wpływa na zdolność skrzepu kazeinowego do wiązania wody, jego syntezę, właściwości reologiczne oraz właściwości podczas obróbki cieplnej [26]. Jony miedzi mają specyficzne działanie na białka jaja kurzego. Ubijanie białek jaj w miedzianej misce było zalecane już w XIX wieku jako sposób poprawy stabilności piany. Twierdzi się, że zwiększona stabilność pian jest wynikiem zwiększonej denaturacji owatransferyny w momencie wiązania jonów miedzi [15]. Z kolei Damodaran i wsp. [4] zdefiniowali negatywny wpływ nadmiaru soli na pienistość i stabilność pian spożywczych poprzez zahamowanie adsorpcji i zmiany w powłokach białkowych na granicy faz. Również Zhang i wsp. [30] twierdzą, że zastosowanie wysokich stężeń NaCl powyżej 0,6 M zmniejszyło zdolność pienienia się białek serwatkowych prawdopodobnie poprzez zmianę rozpuszczalności i zdolności polimeryzacji białek.

W przypadku  $\alpha$ -laktoalbuminy jej cząsteczka ulega przemianie konformacyjnej wywołanej przez jony  $\text{Na}^+$ , co wpływa na zmianę elektrostatycznych interakcji między białkami. Również wcześniejsze badania potwierdziły zmniejszanie się rozpuszczalności białek w roztworze w obecności soli, która była proporcjonalna do zwiększenia wartości siły jonowej soli [9].

W przypadku reometrii oscylacyjnej najwyższe wartości modułów  $G'$  i  $G''$  określono przy stężeniu molowym wynoszącym 120 mM NaCl (tab. 1). Uzyskane wartości obu modułów w tych warunkach są większe niż w przypadku piany otrzymanej z natywnego roztworu bez dodatku NaCl. Zwiększanie dodatku NaCl powyżej 120 mM NaCl prowadziło do systematycznego zmniejszenia wartości obu modułów  $G'$  i  $G''$ . Najmniejsze wartości modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) stwierdzono w przypadku pian otrzymanych w najwyższym stężeniu NaCl (480 mM). Zwiększenie stężenia molowego NaCl wpłynęło negatywnie na właściwości reologiczne pian, co potwierdziły niższe wartości modułów  $G'$  i  $G''$ . Zwiększona zawartość jonów  $\text{Na}^+$  w tych układach mogła stanowić barierę elektrostatyczną w procesie adsorpcji białek na granicy faz oraz wywoływać efekt „wysalania” białek, co wpływało na stabilność pian.

Lepkie i elastyczne składowe pian spożywczych mogą być również analizowane za pomocą technik reologii dynamicznej. Na podstawie pomiarów oscylacyjnych pian, z zastosowaniem małych naprężeń przeprowadzonych w liniowym zakresie lepkościowym, wykazano, że są one wysoce elastycznymi materiałami, niewrażliwymi na zmiany częstotliwości.



Tabela 1

Wartość modułu zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) oraz wielkość przesunięcia kąta fazowego ( $\delta$ ) pian uzyskanych z 10 % roztworów albuminy, w zależności od stężenia NaCl.

Values of storage ( $G'$ ) modulus, loss ( $G''$ ) modulus, and phase angle ( $\delta$ ) for the foams produced from 10 % albumin solutions depending on NaCl concentration rates.

Stężenie molowe NaCl Molar concentration rates of NaCl [mM]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$\delta$ [°]
0	1004 <sup>B</sup> ± 23,97	213,6 <sup>B</sup> ± 5,86	12,16 <sup>C</sup> ± 0,14
60	1026,5 <sup>B</sup> ± 12,02	218,2 <sup>B</sup> ± 3,25	12,00 <sup>C</sup> ± 0,31
120	1049,75 <sup>A</sup> ± 0,07	255,4 <sup>A</sup> ± 0,02	11,02 <sup>D</sup> ± 0,12
240	571,6 <sup>C</sup> ± 13,11	159,7 <sup>C</sup> ± 5,44	13,13 <sup>B</sup> ± 0,48
480	425,6 <sup>D</sup> ± 44,00	165,95 <sup>C</sup> ± 14,77	19,29 <sup>A</sup> ± 0,19

Objaśnienia: / Explanatory notes:

Wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy poziomie istotności  $p \leq 0,05$  / Mean values denoted by different letters differ statistically significantly at  $p \leq 0.05$ .

Khan i wsp. [12], Liang i Kristinsson [13] i Mleko i wsp. [18], analizując zmiany wartości modułów zachowawczego ( $G'$ ) i stratności ( $G''$ ) pian wytworzonych z albuminy jaja kurzego stwierdzili, że wartości te były niewrażliwe na zmiany częstotliwości. Wartości modułu zachowawczego  $G'$  były około ośmiokrotnie większe niż wartości modułu stratności  $G''$ . Piany utworzone z albuminy jaja kurzego podczas przeprowadzenia testów oscylacyjnych wykazywały właściwości reologiczne podobne do wysoko elastycznych materiałów jak żele. Gunasekaran i Ak [10], dokonując analizy oscylacyjnej pian spożywczych, stwierdzili, że wartości  $G'$  zwiększały się powoli wraz ze wzrostem częstotliwości. Taką cechą, jak w przypadku pian, stwierdza się również w przypadku oscylacyjnej analizy żeli. Wzrost częstotliwości drgań powoduje wzrost ilości energii dostarczonej do badanego układu w jednostce czasu. W przypadku słabych żeli oraz innych układów o małej wartości granicy płynięcia, większa energia może spowodować zniszczenie układu, co doprowadzi do spadku wartości modułu zachowawczego. W przypadku mocnych żeli i innych układów o wysokiej wartości granicy płynięcia, wzrost częstotliwości powoduje, że struktura, która nie uległa zniszczeniu, zachowuje się jak coraz bardziej elastyczny materiał. Materiał charakteryzuje się coraz mniejszymi wartościami liczby Debory na skutek zmniejszania się czasu odkształcenia przy niezmiennym czasie relaksacji. Materiały o niskiej liczbie Debory należą do substancji elastycznych, dla których charakterystyczna jest również wysoka wartość modułu zachowawczego w stosunku do modułu stratności. Również Mleko i wsp. [17] podczas przeprowadzania procesu podwójnego żelowania izolatu białek serwatkowych uzyskali wzrost wartości modułu zachowawczego ( $G'$ ) wraz ze wzrostem stężenia soli w układzie. Sołowiej i wsp. [25] oraz Ju i Kilara [11], badając wpływ NaCl na właściwości reologiczne żeli otrzymanych z izolatu białek serwatko-



wych, stwierdzili, że twardość żeli wzrastała wraz ze zwiększaniem stężenia jonów metali w układzie. Można zakładać, że w przypadku takich układów, jak piany uzyskane ze sproszkowanej albuminy wysokopienistej, mechanizm działania jonów metali na poprawę ich właściwości reologicznych może być analogiczny, jak w przypadku żeli uzyskanych z tego preparatu.

W przypadku badanych pian wraz ze wzrostem stężenia NaCl do poziomu 120 mM stwierdzono zmniejszenie wartości przesunięcia kątów fazowych, co świadczy o polepszeniu ich właściwości reologicznych. Zmniejszenie wartości  $\delta$  pian oznacza wzrost elastycznego charakteru próbki [18, 27]. Im mniejsza jest wartość przesunięcia kąta fazowego, tym układ jest bardziej elastyczny, wobec tego 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 liniowej lepkości. W przypadku bardziej elastycznych pian (mniejsze przesunięcie wartości kąta fazowego) nastąpi zerwanie elastycznych połączeń przy większej wartości siły, czyli przy wyższej wartości  $\tau_0$ .

### Wnioski

1. Stężenie albuminy oraz stężenie molowe NaCl w roztworze istotnie wpływały na parametry reologiczne otrzymanych pian białkowych.
2. W przypadku otrzymanych pian zwiększenie stężenia molowego NaCl do wartości 120 mM prowadzi do poprawy ich właściwości reologicznych, co objawia się wzrostem badanych parametrów.
3. Zastosowanie wyższych stężeń molowych NaCl (240 - 480 mM) negatywnie wpływało na zdolności pienne analizowanego preparatu.

### Literatura

- [1] Campbell G.M., Mougeot E.: Creation and characterization of aerated food products. Trends Food Sci. Technol., 1999, **10**, 283-296.
- [2] Clark D.C., Mackie A.R., Smith L.J., Wilson D.R. The interaction of bovine serum albumin and lysozyme and its effect on foam composition. Food Hydrocoll., 1988, **2**, 209-223.
- [3] Damodaran S., Anand K., Razumovsky L.: Competitive adsorption of egg-white proteins at the air water interface: Direct evidence for electrostatic complex formation between lysozyme and other egg proteins at the interface. J. Agric. Food Chem., 1998, **46** 872-876.
- [4] Damodaran S.: Protein stabilization of emulsions and foams. J. Food Sci., 2005, **70** (3), 54-66.
- [5] 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.
- [6] Davis J.P., Foegeding E.A.: Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. J. Food Sci., 2004, **69** (5), 404-410.
- [7] Davis P.J., Foegeding E.A., Hansen F.K.: Electrostatic effects on the yield stress of whey protein isolate foams. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2004, **34**, 13-23.

- [8] Foegeding E.A., Li L.H., Pernell C.W., Mleko S.: A comparison of the gelling and foaming properties of whey and egg proteins. *Hydrocolloids – Part 1*, Elsevier Science, B.V., 2000, pp. 357-366.
- [9] Funtenberger S., Dumay E., Cheftel J.C.: Pressure-induced aggregation of  $\beta$ -lactoglobulin in pH 7,0 buffers. *LWT*, 1995, **28**, 410-418.
- [10] Gunasekaran S., Ak M.M.: Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Food Sci Technol*, 2000, **11**, 115-127.
- [11] Ju Z.Y., Kilara A.: Textural properties of cold set gels induced from heat-denatured whey protein isolates. *J. Food Sci.*, 1998, **63** (2), 288-292.
- [12] Khan S.A., Schnepfer C.A., Armstrong R.C.: Foam Rheology: III. Measurement of shear flow properties. *J. Food Rheol.*, 1998, **32**, 69-92.
- [13] Liang Y., Kristinsson H.G.: The influence of pH-induced unfolding and refolding of egg albumin on its foaming properties. *J. Food Sci.*, 2005, **70**, C222-C230.
- [14] Luck P.J., Bray N., Foegeding E.A.: Factors determining yield stress and overrun of whey protein foams. *J Food Sci*, 2001, **69** (5), 1667-1861.
- [15] McGee H., Long S.R., Briggs W.R.: Why whip egg whites in copper bowls? *Nature*, 1984, **308**, 667-668.
- [16] Mine Y.: Recent advances in understanding of egg white protein functionality. *Trends Food Sci. Technol.*, 2005, **6**, 225-232.
- [17] Mleko S., Glibowski P., Gustaw W., Janas P.: Calcium ions induced gelation of double heated whey protein isolate. *J. Food Sci. Tech.*, 2002, **39** (5), 563-565.
- [18] Mleko S., Kristinsson H.G., Liang Y., Gustaw W.: Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. *LWT*, 2007, **40**, 908-914.
- [19] Murray B.: S.: Stabilization of bubbles and foams. *Curr. Opin. Colloid. Interface Sci.*, 2007, **12**, 232-241.
- [20] Niranjana K.: An introduction to bubble mechanics in foods. *Bubbles in Food*. Eagan Press, St Paul, Minnesota, USA, 1999, pp. 75-82.
- [21] Pernell C.W., Foegeding E.A., Luck P.J., Davis J.P.: Properties of whey and egg white protein foams. *Colloid Surface Physicochem. Eng. Aspect*, 2002, **204**, 9-21.
- [22] 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.
- [23] Poole S., West S.I., Walters C.: Protein-protein interactions: their importance in foaming of heterogeneous protein systems. *J. Sci. Food Agric.*, 1984, **35**, 701-711.
- [24] 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.
- [25] Sołowiej B., Gustaw W., Glibowski P., Szwałgier D., Czernecki T.: Właściwości reologiczne oraz struktura polimerów izolatu białek serwatkowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2** (47), 325-333.
- [26] Sołowiej B.: Wpływ chlorku sodu na właściwości reologiczne i topliwość analogów serów topionych z dodatkiem preparatów serwatkowych. *Mat. Sesji Naukowej. „Jakość i prozdrowotne cechy żywności”*, UP Wrocław, 2010, pp. 119-130.
- [27] Tabilo-Munizaga G., Barbosa-Canovas G.V.: Rheology for the food industry. *J. Food Eng.*, 2005, **67**, 147-156.
- [28] Thakur R.K., Vial Ch., Djelveh G.: Effect of pH of food emulsions on their continuous foaming using a mechanically agitated column. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2006, **7**, 203-210.
- [29] Wilde P.J., Clark D.C.: Foam formation and stability. *Methods of testing protein functionality*. G.M. Hall, Blackie Academic & Professional, London, 1996, pp. 110-152.

- [30] Zhang Z., Dalgleish D.G., Goff H.D.: Effect of pH and ionic strength on competitive protein adsorption to air/water interfaces in aqueous foams made with mixed milk proteins. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2004, **34**, 113-121.

### EFFECT OF SODIUM CHLORIDE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOAMS OBTAINED FROM POWDERED HIGH WHIP ALBUMIN

#### S u m m a r y

The objective of this paper was to determine the effect of sodium chloride addition on rheological properties of foams obtained from powdered high whip albumin. Solutions were made from albumin preparation used in the investigation; their albumin concentration rates were: 2, 6, and 10 %. The following molar concentration rates of NaCl solutions were applied [mM]: 60, 120, 240, and 480. The foams were produced by whipping 50 ml of the solution in lab high-wall beakers of 600 ml volume using a Philips Essence mixer. The whipping time for each solution sample was 2 minutes.

The rheological properties of foams were analyzed using an oscillatory ThermoHaake RS 300 rheometer (ThermoHaake, Karlsruhe, Germany). The yield stress ( $\tau_0$ ) measurements were performed at a constant shear velocity of  $0.01 \text{ s}^{-1}$  using a vane tool and a system of two plates that were parallel to each other. In the oscillation test, a linear range of viscoelasticity of foams analyzed was determined at a frequency of 1 Hz and for the deformation range between 0.002 and 0.05 %. Furthermore, the storage ( $G'$ ) and loss ( $G''$ ) moduli were determined as was the phase angle ( $\delta$ ) value for the oscillation frequency ranging from 0.1 to 10.00 Hz and for the deformation rate of 0.003 %. The measurements were three times repeated. Also, for all the solutions investigated, the values of foam overrun ( $\Phi$ ) were calculated.

The rheological properties of the foams produced depended on the concentration rates of the preparation applied and NaCl. The foams produced from the solutions with the highest albumin concentration were characterized by the best rheological properties. The increase in the molar concentration of NaCl to a value of 120 mM in the solutions analyzed caused the yield stress and overrun increase to systematically increase. However, when the sodium chloride concentration continued to increase, the values of the above indicated parameters decreased, thus, proving the deterioration of the rheological properties of foams under analysis.

**Key words:** albumin, NaCl, foams, rheological properties 