

APPLICATION OF COMPUTER IMAGE ANALYSIS TO EVALUATE THE EFFECT OF FOAMING PARAMETERS ON STRUCTURE OF APPLE PURÉE

Summary

The article presents the characteristics of selected properties of food foams. The effects of speed and time of foaming on density and distribution of air bubbles in the apple purée (Sawa variety) were investigated. It was shown that the speed of 13 000 rpm and 5-minute foaming were the optimal parameters of apple purée foaming process.

Key words: apple purée; foam; image analysis; laboratory experimentation

ZASTOSOWANIE KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZU DO OCENY WPLYWU PARAMETRÓW SPIENIANIA PURÉE JABŁKOWEGO NA JEGO STRUKTURĘ

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości pian spożywczych. Określono wpływ prędkości i czasu spieniania purée z jabłek odmiany Sawa na gęstość oraz rozkład wielkości pęcherzyków powietrza w materiale. Wykazano, że prędkość 13 000 obr/min oraz czas 5 minut, były optymalnymi parametrami procesu spieniania purée jabłkowego.

Słowa kluczowe: purée jabłkowe; piana; analiza obrazu; badania laboratoryjne

1. Wstęp

Według danych statystycznych FAO Polska jest trzecim (po Chinach i USA) producentem jabłek na świecie [10]. Ze względu na zmienne, szczególnie w ostatnich latach, warunki pogodowe bardzo trudno oszacować plon owoców. Niekorzystne warunki wegetacji (wiosenne przymrozki i niedobór wilgoci w glebie) powodują, że owoce słabo się przechowują, a obniżona ich jakość sprawia, że nadają się tylko do przerobu przemysłowego. Producenci żywności poszukują nowych rozwiązań, które umożliwiłyby w szybki, prosty, a jednocześnie tani sposób przetworzyć surowiec owocowy. Jedną z metod, która umożliwia uzyskanie w krótkim czasie sproszkowanej żywności o dobrych cechach jakościowych jest suszenie pianowe. Technika tę zastosowano m.in. do suszenia soków i pulp z owoców lub warzyw. W ostatnich latach obserwuje się ponowne zainteresowanie suszeniem pianowym, a gama surowców, które suszono pianowo znacznie się poszerzyła [4]. Podczas suszenia pianowego cieczy i zawiesiny są spieniane poprzez mieszanie mechaniczne lub wprowadzenie gazu inertnego. Po uzyskaniu stabilnej piany produkt jest suszony w cienkiej warstwie, a następnie rozdrabniany do formy proszku [7, 9]. Produkt spieniany powinien charakteryzować się dużą porowatością i stabilnością przy zachowaniu oryginalnego smaku. W celu utrzymania dobrej jakości proszku należy przed przystąpieniem do suszenia spienić surowiec w taki sposób, aby struktura piany była stabilna w ciągu całego procesu suszenia.

2. Cel pracy

Celem pracy było ustalenie wpływu czasu i prędkości homogenizacji purée jabłkowego na wybrane właściwości piany takie jak: gęstość, wielkość pęcherzyków powietrza oraz procentowy udział pól pęcherzyków powietrza w polu przekroju materiału.

3. Metodyka i materiały

Materiałem badawczym było purée sporządzone z jabłek odmiany Sawa, pochodzących z ogrodów doświadczalnych Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Jabłka rozdrobniono i poddano obróbce termicznej w celu otrzymania jednolitej pulpy. Purée jabłkowe przechowywano w chłodni w temperaturze 4°C przez 4 miesiące. Do badań pobierano próbki o masie 70 g, których gęstość wynosiła 1,111 g/cm³.

Badania purée obejmowały dobór prędkości obrotowej, a następnie określenie optymalnego czasu spieniania. Purée jabłkowe spieniono za pomocą homogenizatora Ultra Turax, typ: T 25B, firmy JKA LABORTECHNIK, w czasie 5 minut przy następujących prędkościach: 11 000, 13 000, 16 000, 19 000 i 22 000 obr/min. Przy wybranej prędkości obrotowej purée poddano aeracji w czasie: 3, 5, oraz 10 minut. Oznaczono suchą substancję purée jabłkowego metodą suszarkową, zgodnie z normą PN-90/A-75101/03, zaś gęstość purée wyznaczano na podstawie pomiarów masy i objętości materiału. Oznaczenia suchej substancji i gęstości przeprowadzano w dwóch powtórzeniach.

Przeprowadzono badania mikroskopowe w celu określenia struktury uzyskanych pian. Po homogenizacji purée jabłkowe nakładano na szkiełko podstawowe w cienkiej warstwie. Preparaty przygotowywano w 3 powtórzeniach, następnie przenoszono je pojedynczo pod mikroskop stereoskopowy typ MST 131. Preparaty badano przy stałym powiększeniu mikroskopu. Za pomocą kamery podłączonej do mikroskopu wykonano 20 zdjęć dla każdego typu materiału. Przeprowadzono komputerową analizę obrazu z wykorzystaniem programu MultiScan V.14.02 firmy Komputer Scanning Systems II. Określono pole powierzchni 500 pęcherzyków powietrza oraz wyznaczono rozkład ich wielkości w postaci histogramów. Tworząc je zakładano stałą liczbę klas. Dla każdego histogramu określono x_{\min} i x_{\max} w celu obliczenia rozstępu R między klasami ze wzoru:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

gdzie:

R – rozstęp,

x_{\max} – największe pole powierzchni pęcherzyka wśród 500 komórek [mm^2],

x_{\min} – najmniejsze pole powierzchni pęcherzyka wśród 500 komórek [mm^2].

Obliczono ilość klas histogramu korzystając ze wzoru:

$$K = \sqrt{n}$$

gdzie:

K – liczba klas (przedziałów),

n – liczba zliczonych pól powierzchni [500]

oraz długość klas ze wzoru:

$$b = \frac{R}{K}$$

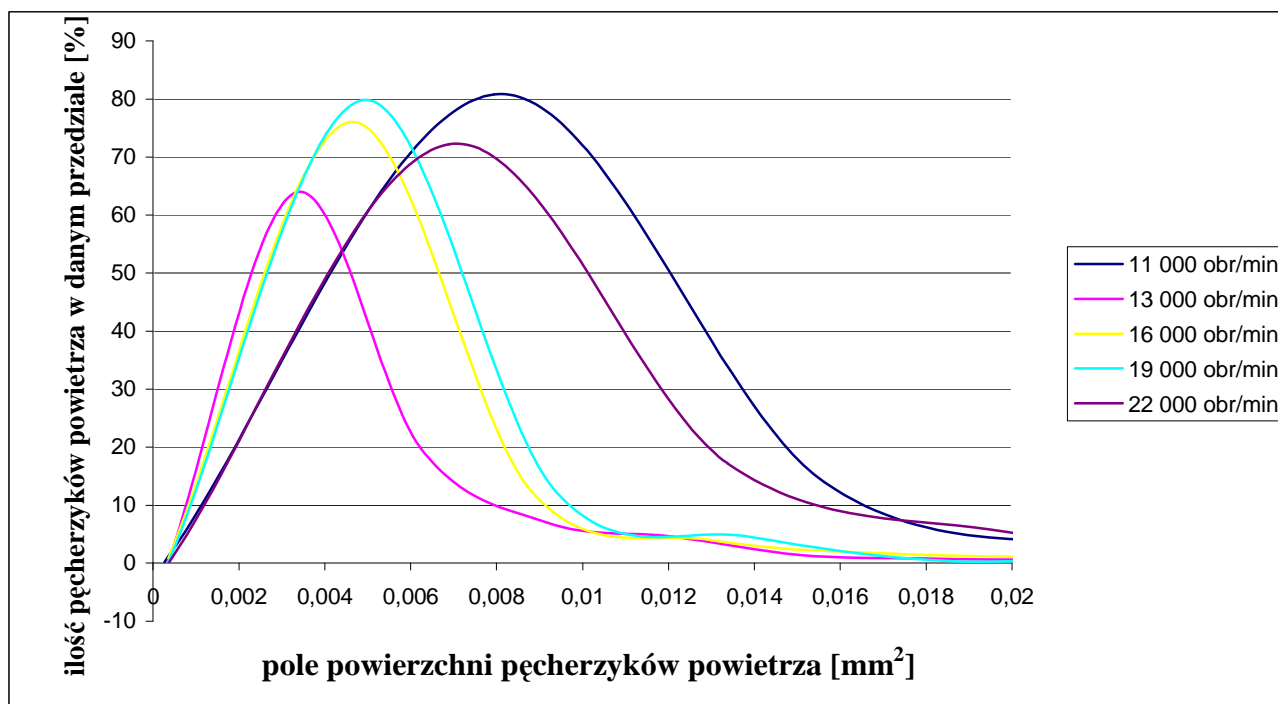
gdzie:

b – długość klas.

Na podstawie przebiegu histogramu znajdowano przedział o największym procentowym udziale pęcherzyków.

4. Omówienie i dyskusja wyników

Rys. 1 przedstawia zależność wielkości pola powierzchni pęcherzyków powietrza od procentowego udziału pęcherzyków w danym przedziale ich wielkości. Przy zastosowaniu prędkości spieniania 11 000 obr/min rozkład wielkości porów wskazywał na obecność bardzo dużych pęcherzyków. Pole powierzchni ponad 81% pęcherzyków powietrza mieściło się w przedziale od 0,00411 do 0,01178 mm^2 . Zaobserwowano duże zróżnicowanie w wielkości pól pęcherzyków od 0,00027 mm^2 do 0,16911 mm^2 . Ze względu na dużą rozbieżność wielkości pola powierzchni między małymi a dużymi pęcherzykami, w histogramie klasy wielkości pola powierzchni były szerokie. Zwiększając prędkość obrotową homogenizatora do 13 000 obr/min, krzywa rozkładu wielkości przesunęła się w stronę pęcherzyków o mniejszym polu powierzchni. Maksimum rozkładu pól powierzchni przypadało na przedział od 0,00183 do 0,00477 mm^2 , co stanowiło ponad 64% wszystkich zmierzonych porów powietrznych (tab. 1).



Rys. 1. Rozkład pól powierzchni pęcherzyków powietrza w spienionym purée przy zastosowaniu różnych prędkości obrotowych

Fig. 1. The distribution of air bubbles area in foamed purée at different rotational speed of the whipper

Zwiększając prędkość obrotową homogenizatora z 13 000 do 19 000 nastąpił wzrost wielkości pola powierzchni pęcherzyków w pianie, a ich przedział o maksymalnej częstotliwości stanowiącej ponad 80% pęcherzyków obejmował zakres pól od 0,00262 mm² do 0,00712 mm² (tab. 1). Nie obserwowano istotnej różnicy w rozkładzie pól pęcherzyków powietrza w purée spienionym przy 16 000 i 19 000 obr/min. Dalsze podwyższenie prędkości obrotowej homogenizatora do 22 000 obr/min powodowało wzrost wielkości pęcherzyków w purée, w którym dominowały pory o polu w zakresie od 0,00363 mm² do 0,01013 mm². Krzywe rozkładu wielkości pęcherzyków dla prędkości obrotowej 22 000 oraz 11 000 obr/min miały zbliżony przebieg, ale przy mniejszej prędkości obrotowej obserwowano większe zróżnicowanie wielkości pęcherzyków. Piany przygotowane przy maksymalnej prędkości obrotowej charakteryzowały się występowaniem dużych pęcherzyków, które powstawały w wyniku aglomeracji i łączenia się mniejszych pęcherzyków. Obserwacje pian pod mikroskopem wskazywały również na ich małą stabilność, gdyż w czasie wykonywania zdjęć dochodziło do pęknięcia dużych pęcherzy.

Wykonywano również pomiary gęstości spienionego purée jabłkowego przy zastosowaniu zakresu badanych prędkości obrotowych homogenizatora (tab. 2). Wzrost prędkości obrotowej homogenizatora z 11 000 do 16 000 obr/min wpływał na nieznaczne zmniejszenie gęstości. Przy prędkości obrotowej 13 000 i 16 000 obr/min nie obserwo-

wano istotnej różnicy gęstości. Zwiększenie prędkości do 19 000 obr/min wpływało na uzyskanie najniższej gęstości materiału wynoszącej 0,967 ± 0,004 g/cm³. Dalszy wzrost prędkości obrotowej do 22 000 obr/min wpływał na zwiększenie gęstości, co mogło być związane z obniżeniem stabilności i wytrzymałości pian. Zbyt długie lub zbyt intensywne mieszanie materiału może prowadzić do załamania struktury piany.

Na rys. 2 a-c przedstawiono przykładowe zdjęcia mikroskopowe purée jabłkowego. Analiza obrazów mikroskopowych pian i histogramów wykazały, że purée spieniane przy prędkości 13 000 obr/min charakteryzowało się wąskim zakresem wielkości pól pęcherzyków powietrza, a średnia wartość pola powierzchni wynosząca 0,00401 mm² była najmniejsza spośród badanych materiałów. Jednocześnie obniżona o 10% gęstość w stosunku surowca świadczy o wprowadzeniu znacznej frakcji powietrza do purée. DeVries [1] oraz Karim i Wai [6] stwierdzili, że piany, które mają małe pole powierzchni pęcherzyków oraz są najbardziej wyrównane pod względem wielkości, dają stabilne piany, co może świadczyć o tym, że zastosowanie prędkości 13 000 obr/min jest wartością optymalną, zapewniającą małą wielkość porów przy zachowaniu znacznego stopnia spienienia w badanym zakresie prędkości.

Dalsze badania przeprowadzono przy prędkości homogenizacji 13 000 obr/min w celu ustalenia optymalnego czasu spieniania.

Tab. 1. Charakterystyka parametrów strukturalnych spienionego purée w zależności od zastosowanej prędkości obrotowej homogenizatora

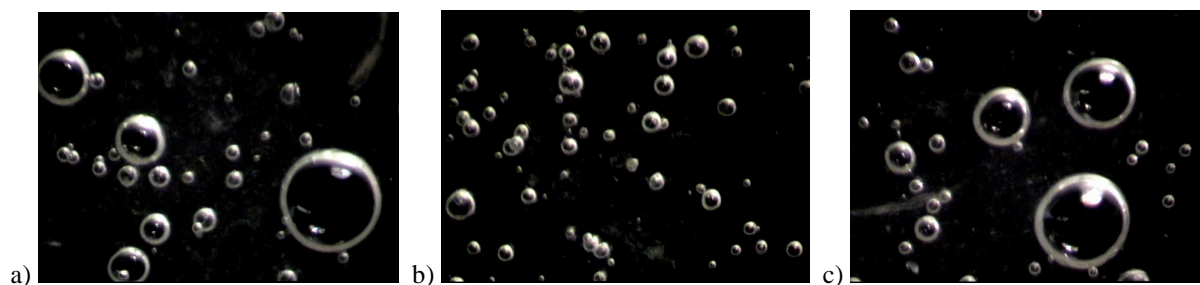
Table 1. Characteristics of structural parameters of foamed purée according to different rotational speed of the whipper

Prędkość obrotowa [obr/min]	11 000	13 000	16 000	19 000	22 000
Przedziały pola powierzchni o największym udziale pęcherzyków powietrza [mm ²]	0,00411-0,01178	0,00183-0,00477	0,00211-0,00668	0,00262-0,00712	0,00363-0,01013
Procentowy maksymalny udział pęcherzyków w rozkładzie [%]	81,0	64,1	76,8	80,2	72,3
Średnia wartość pola powierzchni pęcherzyków powietrza [mm ²]	0,0058 ± 0,01109	0,00401 ± 0,00581	0,00448 ± 0,00792	0,00411 ± 0,00800	0,00685 ± 0,01167

Tab. 2. Gęstość purée jabłkowego spienionego przy różnych prędkościach obrotowych

Table 2. The density of foamed apple purée at the different rotational speed of the whipper

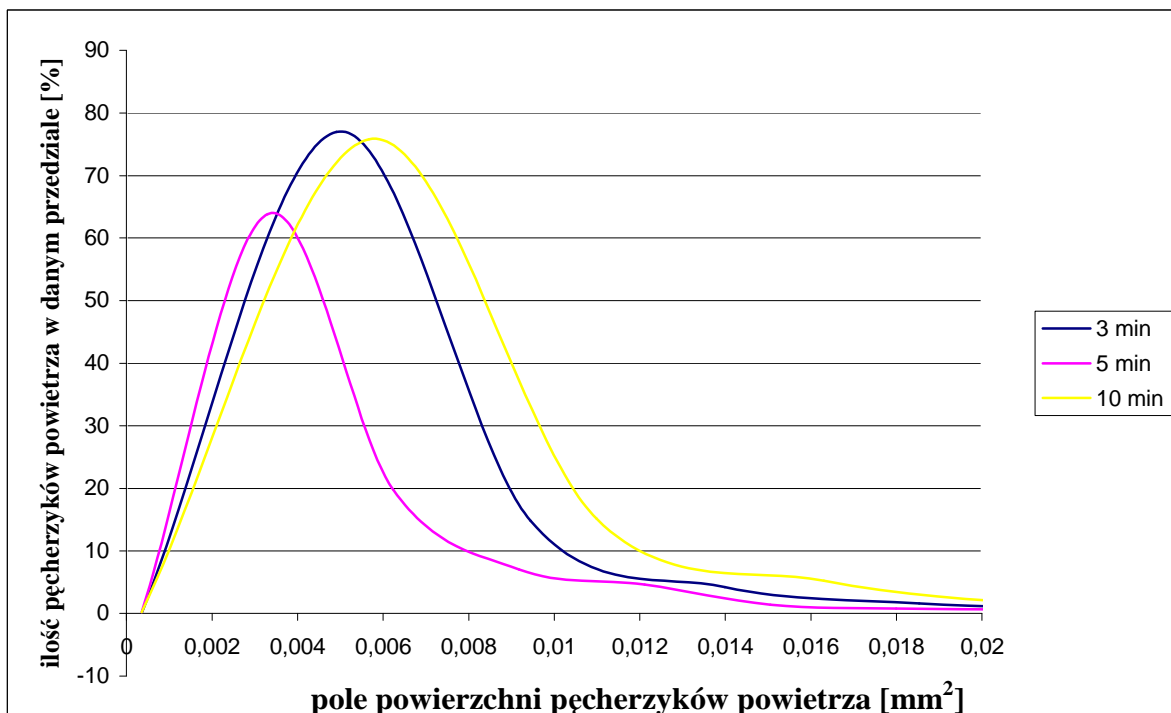
Gęstość purée [g/cm ³] przy prędkościach:				
11 000 obr/min	13 000 obr/min	16 000 obr/min	19 000 obr/min	22 000 obr/min
1,028 ± 0,006	0,999 ± 0,005	1,008 ± 0,006	0,967 ± 0,004	0,977 ± 0,001



Rys. 2. Zdjęcia purée jabłkowego spienianego przy prędkościach: a) 11 000 obr/min, b) 13 000 obr/min, c) 22 000 obr/min
Fig. 2. Photographs of apple purée foamed at speed: a) 11 000 rpm, b) 13 000 rpm, c) 22 000 rpm

Krzywe rozkładu wielkości pól pęcherzyków powietrza w purée po 3 i 10 min homogenizacji posiadają zbliżone kształty (rys. 3). Charakteryzują się zróżnicowaną wielkością pęcherzyków i szerokim zakresem wielkości pól powierzchni, co miało istotny wpływ na rozkład ich wielkość oraz średnią wartość pola powierzchni. Homogenizując purée jabłkowe przez 5 minut, około 60% miało pole powierzchni pęcherzyków w zakresie od 0,00183 do 0,00477 mm² (tab. 3). Pole powierzchni pęcherzyków powietrza o największym procentowym udziale zmniejszyło się o 50% w porównaniu do 3-minutowego czasu homogenizacji.

Spienianie purée jabłkowego przez 5 minut wpływało na uzyskanie małych pęcherzyków powietrza, a przedział pola powierzchni o największym procentowym udziale pęcherzyków powietrza obejmował pęcherzyki o mniejszych polach powierzchni niż przy spienianiu purée w czasie 3 lub 10 minut. Pole powierzchni pęcherzyków otrzymanych podczas spieniania purée w czasie 5 minut było najmniej zróżnicowane w całym zakresie wielkości porów, a rozmieszczenie pęcherzyków w pianie jednorodne (rys. 4). Wydłużenie czasu spieniania z 5 do 10 minut powodowało wzrost wielkości pęcherzyków.

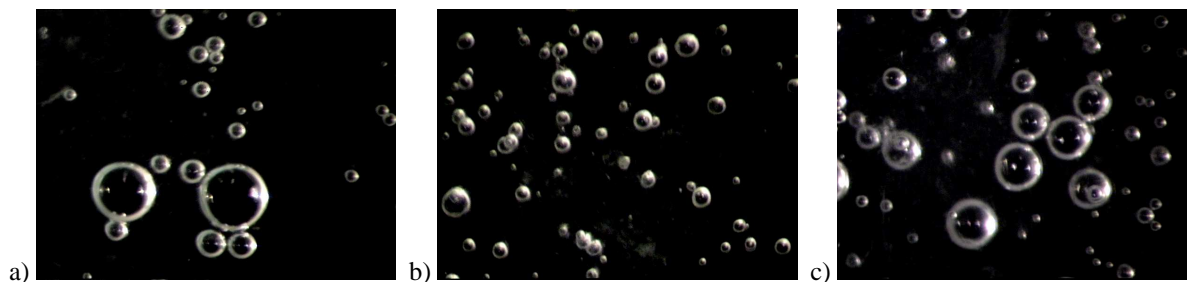


Rys. 3. Wpływ czasu spieniania na rozkład pola powierzchni pęcherzyków powietrza w purée jabłkowym
 Fig. 3. The effect of foaming time on the distribution of air bubbles area in apple purée

Tab. 3. Przedziały wielkości pola powierzchni pęcherzyków powietrza w zależności od czasu homogenizacji purée jabłkowego

Table 3. The structural parameters of apple purée obtained after different time of foaming

Czas spieniania [min]	3	5	10
Przedziały pola powierzchni o największym procentowym udziale pęcherzyków powietrza [mm ²]	0,00264-0,00717	0,00183-0,00477	0,00302-0,00832
Procentowy maksymalny udział pęcherzyków w rozkładzie [%]	77,1	64,1	76,1
Średnia wartość pola powierzchni [mm ²]	0,00446 ± 0,00823	0,00401 ± 0,00851	0,00477 ± 0,00792



Rys. 4. Zdjęcia purée jabłkowego spienianego w czasie: a) 3 min., b) 5 min., c) 10 min.

Fig. 4. Photographs of apple purée foamed during: a) 3 minutes, b) 5 minutes, c) 10 minutes

W tab. 4 przedstawiono wyniki pomiarów gęstości purée spienianego w czasie od 3 do 10 minut. Wydłużenie czasu powodowało obniżenie gęstości purée. Zwiększając czas homogenizacji z 5 do 10 minut gęstość zmalała około 2%. Huang i wsp. [3] w badaniach piany z izolatu serwatki stwierdzili, że optymalny czas spieniania umożliwiający uzyskanie stabilnych pian było zastosowanie 10-minutowego mieszania. Dla purée jabłkowego najkorzystniejszym czasem spieniania było 5 min, ponieważ w czasie 10 minut tworzyły się duże pęcherzyki, które zaczynały się łączyć ze sobą, tworząc skupiska, co prowadziło do uzyskania heterogenicznej struktury spienionego purée.

Tab. 4. Gęstość purée jabłkowego spienianego w różnym czasie

Table 4. The density of apple purée after different times of foaming

Gęstość purée [g/cm ³] spienianego w czasie:		
3 min	5 min	10 min
1,035 ± 0,000	0,999 ± 0,005	0,979 ± 0,002

Kampf i wsp. [5] określali wpływ czasu spieniania wodnej zawiesiny albuminy na wielkość pęcherzyków powietrza. Przeprowadzali badania w zakresie od 1 do 5 minut spieniania i stwierdzili, że wzrost czasu spieniania powoduje obniżenie wielkości pęcherzyków powietrza. Badania spienianego purée jabłkowego wykazały, że wydłużenie czasu spieniania z 3 do 5 minut powodowało obniżenie średniej wartości pola powierzchni pęcherzyków powietrza (tab. 3). Dalsze spienianie do 10 minut powodowało zwiększenie średniej wartości pola powierzchni pęcherzyków powietrza.

Falade i wsp. [2] określali wpływ czasu spieniania (3-21 minut) na gęstość purée warzywnego. Przy najniższych czasach spieniania, tworzyła się bardzo mała ilość pęcherzyków powietrza, a po 21 minutach struktura pęcherzyków powietrza załamywała się, a gęstość badanego materiału malała. W badaniach purée jabłkowego, przy zastosowaniu 5-minutowego czasu homogenizacji gęstość również zmalała w stosunku do niespionego purée jabłkowego. Zwiększając czas homogenizacji do 10 minut obserwowano nieznaczne zmniejszenie gęstości, ale istotne zmiany w strukturze piany (rys. 4).

Przeprowadzone badania wykazały, że optymalnymi parametrami spieniania purée jabłkowego przed suszeniem pianowym były: czas 5 minut oraz prędkość obrotowa homogenizatora 13 000 obr/min. Przy zastosowaniu wysokiej prędkości obrotowej 22 000 obr/min podczas spieniania tworzyły się bardzo duże i nietrwałe pęcherzyki w purée, co może wpływać na stabilność piany podczas przechowywania i dalszej obróbki technologicznej.

5. Podsumowanie

1. Prędkość obrotowa homogenizatora wpływała na strukturę uzyskanej piany. Dla purée jabłkowego optymalną prędkością homogenizacji było 13 000 obr/min, gdyż uzyskiwano piany, które zawierały pęcherzyki o najmniej zróżnicowanym polu powierzchni.
2. Przy prędkości spieniania 11 000 obr/min i 22 000 obr/min tworzyły się duże pęcherzyki powietrza, które łatwo ulegały zniszczeniu, co istotnie może ograniczać stabilność pian podczas obróbki technologicznej.
3. Optymalny czas homogenizacji purée jabłkowego wynosił 5 min, po tym czasie spieniania pęcherzyki powietrza były małe i charakteryzowały się wyrównaną wielkością, a średnia wartość pola powierzchni wynosiła 0,00401 mm.
4. Wzrost prędkości obrotowej z 16 000 do 19 000 obr/min powodował zmniejszenie gęstości purée jabłkowego, zaś przy 22 000 obr/min gęstość ponownie zwiększała się, co mogło wskazywać na załamanie struktury piany.
5. Otrzymane wyniki były podstawą do badań pian spożywczych z dodatkiem różnych środków spieniających, oraz suszenia pianowego. Opisana metoda (w fazie badań laboratoryjnych) może w przyszłości znaleźć zastosowanie w przemyśle spożywczym w procesie produkcji żywności sproszkowanej.

6. Bibliografia

- [1] DeVries, A.J.: Foam stability: A fundamental investigation of the factors controlling the stability of foam, *Rubber Chemistry and Technology*, 1958, 31: 1142-1205.
- [2] Falade K.O., Adeyanju K.I., Uzo-Peters P.I.: Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *European Food Research and Technology*, 2003, 217: 486-491.
- [3] Huang X.L., Catignani G.L., Swaisgood H.E.: Micro-sale method for determining foaming properties of protein. *Journal of Food Science*, 1997, 62(5): 1028-1030.
- [4] Jakubczyk E.: Suszenie pianowe – nowe kierunki w suszeniu żywności. *Przemysł Spożywczy*, 2011, 65, nr 6: 42, 44-46.
- [5] Kampf N., Martinez C.G., Corradini M.G., Peleg M.: Effect of two gums on the development rheological properties and stability of egg albumen foams. *Rheologica Acta*, 2003, 42: 259-268.
- [6] Karim A.A., Wai C.C.: Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 1999, 13: 203-210.
- [7] Kudra T., Ratti C.: Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering*, 2006, 48(3): 27-32.
- [8] Pysznińska A.: Badanie pian spożywczych na bazie purée owocowego. Praca magisterska. Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW, 2006.
- [9] Rajkumar P., Kailappan R., Viswanathan R., Raghavan G.S.V.: Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, 2007, 79: 1452-1459.