

Dr inż. Maciej KABZIŃSKI  
Dr inż. Krzysztof NEUPAUER  
Mgr inż. Marcelina NOWAK  
Dr inż. Joanna KRUK

Mgr inż. Kacper KACZMARCZYK  
Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego  
Wydział Technologii Żywności  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE PIAN SPOŻYWCZYCH Z DODATKIEM WYBRANYCH HYDROKOLOIDÓW SPOŻYWCZYCH OTRZYMANYCH METODĄ CIĄGLĄ®

Rheological properties of food foams with addition of some food hydrocolloids produced by continuous method®

*Badania sfinansowano ze środków pochodzących z Konkursu MINIATURA 1 Narodowego Centrum Nauki, nr rejestracyjny 2017/01/X/NZ9/00816*

**Słowa kluczowe:** piany spożywcze, hydrokoloidy, właściwości reologiczne.

*Artykuł przedstawia wpływ wybranych hydrokoloidów spożywczych na właściwości reologiczne pian wytwarzanych metodą ciągłą. Piany wytwarzano na bazie wodnego roztworu albuminy jaja kurzego w aparacie kolumnowym z napowietrzaniem, wyposażonym w mieszadło łopatkowe. Pomiarów właściwości reologicznych przeprowadzono przy użyciu reometru rotacyjnego w warunkach testu pętli histerezy. Na podstawie danych pomiarowych obliczono parametry równania Ostwalda-de Waele. Zidentyfikowano różnice zachowań reologicznych pian z dodatkiem odmiennych hydrokoloidów.*

**Key words:** food foams, hydrocolloids, rheological properties.

*The article presents an impact of some food hydrocolloids on rheological properties of foams produced by continuous method. Foams were produced on the base of aqueous egg white albumin solutions in aerated column apparatus, equipped with paddle stirrer. Measures of rheological properties were conducted in rotational rheometer in hysteresis loop conditions. On the base of experimental data parameters of Power Law were calculated. The differences between rheological behavior of foams with different hydrocolloid addition were found.*

### WSTĘP

Układy aerowane stanowią coraz liczniejszą grupę produktów przemysłu spożywczego. Stanowią ważną linię wyrobów branży cukierniczej, mleczarskiej, mięsnej oraz gastronomicznej [2, 9]. Z fizykochemicznego punktu widzenia, piany stanowią dyspersję, w których gaz, w postaci pęcherzy, zdyspergowany jest w cieczy, ciele stałym lub żelu [4]. Jedną z substancji, wykorzystywaną jako baza do produkcji pian jest albumina [1]. Stanowi ona najważniejsze białko w jajku kurzym i należy do rodziny globularnych białek o pojedynczym łańcuchu [11].

Spienione wyroby spożywcze, wytworzone na bazie albuminy, np. bezy wykazują małą wytrzymałość mechaniczną [8] oraz niestabilność termodynamiczną [6]. Poprawę stabilności i wytrzymałości pian można uzyskać, między innymi, poprzez zwiększenie lepkości fazy ciągłej, co w praktyce oznacza dodatek różnych hydrokoloidów [12]. Powszechnie stosowanymi

w przemyśle spożywczym hydrokoloidami, stosowanymi w charakterze stabilizatorów struktury i zagęstników, są: guma guar, guma ksantanowa oraz karboksymetyloceluloza. Pierwsze dwa polisacharydy mają pochodzenie naturalne, natomiast trzeci jest modyfikowaną chemicznie pochodną celulozy. Hydrokoloidy te charakteryzują się złożonymi właściwościami reologicznymi, zależnymi zarówno od szybkości ścinania, jak i od czasu prowadzenia operacji technologicznych z ich udziałem [5].

Tradycyjnym i nadal powszechnie stosowanym w praktyce przemysłowej sposobem otrzymywania pian jest prowadzenie operacji w urządzeniach o działaniu okresowym. Jednakże, metody ciągłe, wykorzystujące napowietrzane mieszalniki statyczne lub kolumny wyposażone w mieszadła, znajdują coraz większe uznanie w literaturze przedmiotu. Wśród korzyści związanych z ciągłymi metodami wytwarzania, wymienić należy: wysoką wydajność produkcji, niewielkie gabaryty

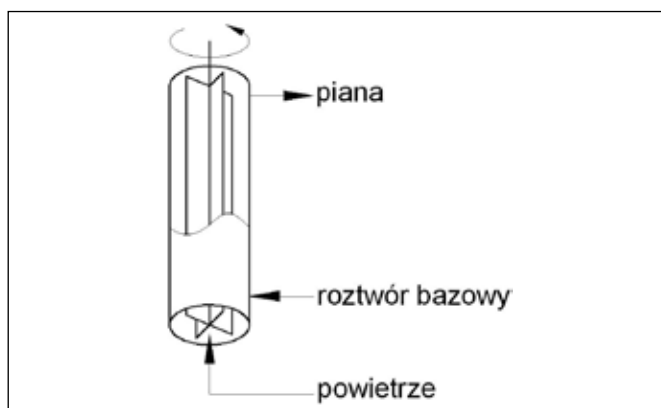
**Adres do korespondencji – Corresponding author:** Maciej Kabziński, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Technologii Żywności, Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków, e-mail: maciej.kabzinski@urk.edu.pl

urządzeń, równomierne ścinanie oraz mniejszą energochłonność [7, 10].

**Celem artykułu jest przedstawienie wpływu dodatku wybranych hydrokoloidów spożywczych na parametry reologiczne pian wytworzonych na bazie roztworu albuminy jaja kurzego, podczas operacji spieniania prowadzonej metodą ciągłą.**

## MATERIAŁY I METODY

Do badań wykorzystano bazy do pian w postaci roztworu wodnego albuminy jaja kurzego o stężeniu 10% oraz roztwory tej albuminy o stężeniu 9% z 1% dodatkiem wybranych hydrokoloidów spożywczych, takich jak karboksymetyloceluloza, guma guar oraz guma ksantanowa. Przygotowane roztwory spieniano w temperaturze pokojowej metodą ciągłą w aparacie kolumnowym wyposażonym w przyrządy umożliwiające regulację natężenia przepływu powietrza, ciśnienia powietrza, prędkości obrotowej pompy perystaltycznej podającej roztwory bazowe oraz prędkości obrotowej mieszadła. Kolumna została zaopatrzona w wąskoprześwitowe mieszadło łopatkowe (z 4 łopatkami) (rys. 1). Operację przeprowadzono w następujących warunkach: natężenie przepływu powietrza – 10 l/min w warunkach ciśnienia roboczego, ciśnienie powietrza – 0,7 bara, prędkość obrotowa pompy – 2 min<sup>-1</sup>, prędkość obrotowa mieszadła – 900 min<sup>-1</sup>.



**Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego**  
**Fig. 1. The research stand scheme.**

Źródło: Opracowanie własne  
Source: Own study

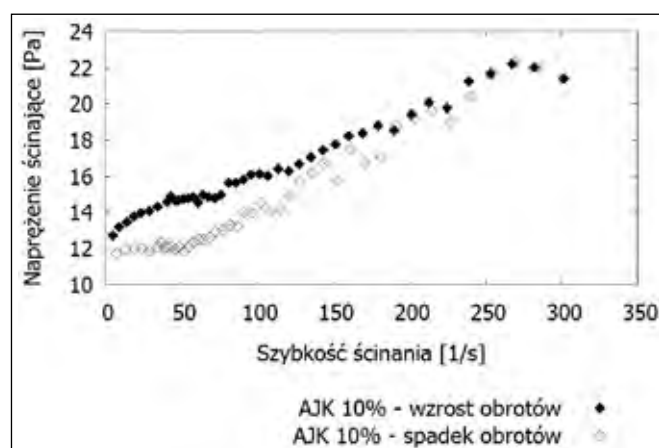
Wytworzone piany poddano następnie badaniom reometrycznym przy wykorzystaniu reometru rotacyjnego Haake RS6000 z układem pomiarowym stożek-płytką, o geometrii: kąt stożka – 2°, wysokość szczeliny – 1 mm. Przeprowadzono test pętli histerezy w zakresie szybkości ścinania wynoszącym 0÷300 s<sup>-1</sup>, w czasie 1200 s. Uzyskane w pomiarach reometrycznych dane posłużyły do wyznaczenia parametrów równania Ostwalda-de Waele, dla krzywej płynięcia odnoszącej się do wzrostu jak i spadku prędkości obrotowej sensora reometru, zgodnie z równaniem [3]:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

gdzie:  $\tau$  – naprężenie ścinające [Pa]  
 $\dot{\gamma}$  – szybkość ścinania [s<sup>-1</sup>]  
 $K$  – współczynnik konsystencji [Pas<sup>n</sup>]  
 $n$  – wskaźnik płynięcia [-]

## WYNIKI BADAŃ

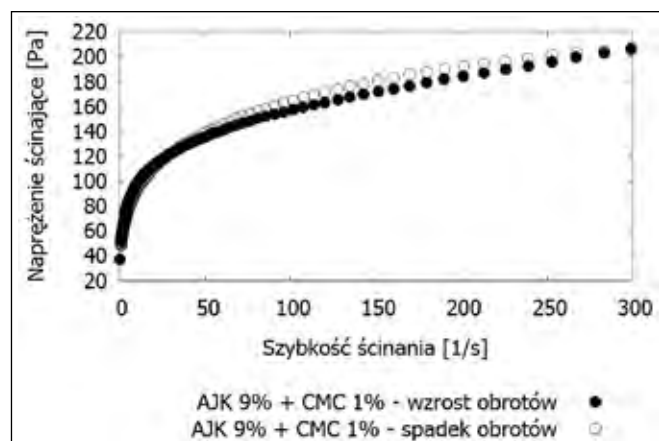
Na rysunkach (2-5) przedstawiono pętle histerezy dla pian wytwarzanych metodą ciągłą na bazie albuminy jaja kurzego bez dodatku i z 1% dodatkiem wybranych hydrokoloidów spożywczych. Dobrze widoczne są wyższe wartości naprężenia ścinającego (a zarazem lepkości pozornej) dla układów z dodatkiem hydrokoloidów w odniesieniu do pian zawierających wyłącznie albuminę. Najwyższy wzrost naprężenia ścinającego jest charakterystyczny dla piany z dodatkiem karboksymetylocelulozy. Ponadto, zaobserwować można różnice w przebiegach krzywych płynięcia dla poszczególnych układów, w tym różnice dla krzywych odnoszących się do różnych warunków ścinania w reometrze (wzrostu i spadku prędkości obrotowej sensora). W celu dokładniejszego przeanalizowania wpływu poszczególnych hydrokoloidów na właściwości reologiczne rozpatrywanych pian, obliczono parametry równania Ostwalda-de Waele, które zebrano w tabeli (1).



**Rys. 2. Pętla histerezy dla piany wytworzonej na bazie 10% roztworu albuminy (AJK).**

**Fig. 2. The hysteresis loop for foam produced on 10% albumin (AJK) solution base.**

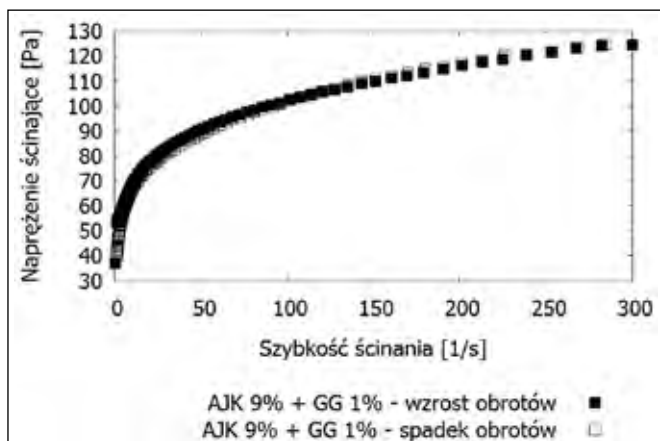
Źródło: Opracowanie własne  
Source: Own study



**Rys. 3. Pętla histerezy dla piany wytworzonej na bazie 9% roztworu albuminy (AJK) z 1% dodatkiem karboksymetylocelulozy (CMC).**

**Fig. 3. The hysteresis loop for foam produced on 9% albumin (AJK) solution with addition of 1% carboxymethyl cellulose (CMC) base.**

Źródło: Opracowanie własne  
Source: Own study

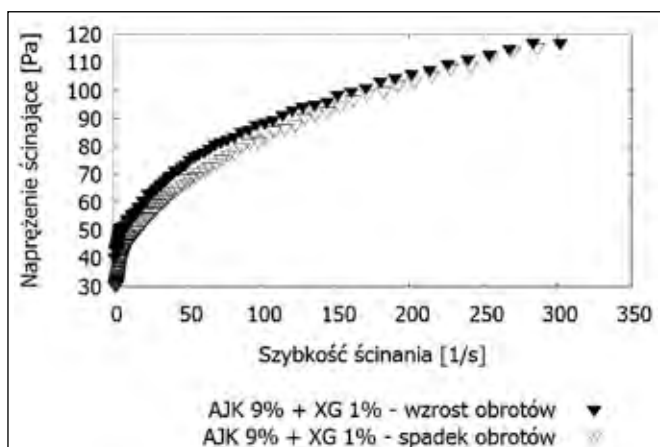


Rys. 4. Pętla histerezy dla piany wytworzonej na bazie 9% roztworu albuminy (AJK) z 1% dodatkiem gumy guar (GG).

Fig. 4. The hysteresis loop for foam produced on 9% albumin (AJK) solution with addition of 1% guar gum (GG) base.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 5. Pętla histerezy dla piany wytworzonej na bazie 9% roztworu albuminy (AJK) z 1% dodatkiem gumy ksantanowej (XG).

Fig. 5. The hysteresis loop for foam produced on 9% albumin (AJK) solution with addition of 1% xanthan gum (XG) base.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Analiza danych przedstawionych w tabeli (1) uwidacznia znaczące zwiększenie wartości współczynnika konsystencji pian z dodatkiem hydrokoloidów, przy czym dla układu zawierającego karboksymetylocelulozę zaobserwowano wzrost największy. Istotny jest również brak znaczącego wpływu dodanych hydrokoloidów na charakter reologiczny rozpatrywanych pian – w każdym przypadku jest on charakterystyczny dla ośrodków silnie rozrzedzanych ścinaniem. Porównanie wartości parametrów równania Ostwalda-de Waele dla wzrastających i malejących obrotów sensora reometru wskazuje ponadto na zachowania badanych ośrodków właściwe płynem reologicznie niestabilnym. W warunkach przeprowadzenia pomiarów zaobserwowano wystąpienie zjawiska tiksotropii o różnym nasileniu.

Tabela 1. Wartości parametrów równania Ostwalda-de Waele dla badanych pian

Table 1. The values of Power Law parameters for investigated foams

Układ	Wzrost obrotów sensora reometru		Spadek obrotów sensora reometru		$\Delta K$	$\Delta n$
	K	n	K	n		
AJK 10%	5,63	0,23	3,36	0,32	- 40%	+ 28%
AJK 9% + CMC 1%	56,24	0,23	50,86	0,25	- 10%	+ 8%
AJK 9% + GG 1%	47,11	0,17	42,01	0,19	- 11%	+ 11%
AJK 9% + XG 1%	35,92	0,20	26,15	0,25	- 27%	+ 20%

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Największe spadki wartości współczynnika konsystencji charakterystyczne są dla piany bez dodatku hydrokoloidów. Natomiast dla pian zawierających karboksymetylocelulozę i gumę guar spadki te są znacznie mniejsze, co sugeruje korzystny wpływ wymienionych dodatków na stabilność układów spienionych. Kolejnych informacji dostarcza analiza wartości wskaźnika płynięcia dla prowadzenia ścinania w warunkach wzrostu i spadku obrotów sensora reometru. Dla wszystkich użytych w doświadczeniach układów widoczne jest zmniejszenie odchylenia właściwości reologicznych od prawa Newtona w miarę postępów ścinania. Największe zmiany w tym aspekcie zarejestrowano dla piany wytworzonej na bazie roztworu czystej albuminy oraz z dodatkiem gumy ksantanowej. Natomiast znacząco mniejsze zmiany wartości wskaźnika płynięcia odnotowano dla ośrodków zawierających karboksymetylocelulozę i gumę guar.

## WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pozwalają na sformułowanie następujących uogólnień dla pian spożywczych wytwarzanych metodą ciągłą:

1. Piany wytwarzane na bazie roztworu czystej albuminy charakteryzują się silnym rozrzedzaniem, ścinaniem oraz występowaniem wyraźnej reologicznej niestabilności.
2. Dodatek każdego z użytych hydrokoloidów wpływa korzystnie na zwiększenie lepkości pozornej układu, skutkując zwiększeniem jego stabilności.
3. Dodatek karboksymetylocelulozy i gumy guar zmniejsza nasilenie zjawiska tiksotropii w badanych pianach, co jest korzystne w przypadku długotrwałego poddawania ich operacjom mechanicznym.

Zaprezentowane wyniki mogą być wykorzystywane w zakładach przemysłu spożywczego, specjalizujących się w produkcji żywności aerowanej. Pozwalają one na właściwy dobór składu baz do pian, predykcję zachowań reologicznych podczas procesu technologicznego, tym samym umożliwiając otrzymanie wyrobu finalnego o określonej i akceptowalnej jakości.

## LITERATURA

- [1] **ABU-GHOUSH M., T. J. HERALD, A. M. ARAMO-UNI. 2010.** "Comparative study of egg white protein and egg alternatives in an angel food cake system". *Journal of Food Processing and Preservation* 34: 411-425.
- [2] **BALERIN C., P. AYMARD, F. DUCEPT, S. VASLIN, G. CUVELIER. 2007.** "Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams". *Journal of Food Engineering* 78: 802-809.
- [3] **DZIUBIŃSKI M., T. KILJAŃSKI, J. SĘK. 2014.** *Podstawy teoretyczne i metody pomiarowe reologii.* Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej: 30-209.
- [4] **HILL C., J. EASTOE. 2017.** "Foams: From nature to industry". *Advances in Colloid and Interface Science* 247: 496-513.
- [5] **IMESON A. 2010.** *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents.* Wiley-Blackwell Publishing: 95-342.
- [6] **INDRAWATI L., Z. WANG, G. NARSIMHAN, J. GONZALEZ. 2008.** "Effect of processing parameters on foam formation continuous system with mechanical whipper". *Journal of Food Engineering* 88: 65-74.
- [7] **LAPORTE M., D. DELLA VALLE, C. LOISEL, S. MARZE, A. RIAUBLANC, A. MONTILLET. 2015.** "Rheological properties of food foams produced by SMX static mixers". *Food Hydrocolloids* 43: 51-57.
- [8] **LI X., A. PIZZI, M CANGEMI, P. NAVARETTE, C. SEGOVIA, V. FIERRO, A. CELZARD. 2012.** "Insulation rigid and elastic foams based on albumin". *Industrial Crops and Products* 37: 149-154.
- [9] **NARCHI I., CH. VIAL, G. DJELVEH. 2009.** "Effect of protein-polysaccharide mixtures on the continuous manufacturing of foamed food products". *Food Hydrocolloids* 23: 188-201.
- [10] **NICORESCU I., C. VIAL, C. LOISEL, A. RIAUBLANC, G. DJELVEH, G. CUVELIER, J. LEGRAND. 2010.** "Influence of protein heat treatment on the continuous production of food foams". *Food Research International* 43: 1585-1593.
- [11] **TANKOVSKAIA S. A., K. V. ABROSIMOVA, S. V. PASTON. 2018.** "Spectral demonstration of structural transitions in albumins". *Journal of Molecular Structure* 1171: 243-252.
- [12] **THAKUR R. K, CH. VIAL, G. DJELVEH. 2003.** „Influence of operating conditions and impeller desing on the continuous manufacturing of food foams“. *Journal of Food Engineering* 60: 9-12.