

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW

Mgr inż. Monika ZIMNA

Mgr inż. Piotr MACH

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

WPŁYW ZAMRAŻALNICZEGO PRZECHOWYWANIA I ROZMRAŻANIA MIKROFALOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE CHLEBA ORKISZOWEGO NA ZAKWASIE ŻYTNIM®

Effect of frozen storage and microwave thawing on rheological properties of spelled bread sourdough rye®

Słowa kluczowe: chleb orkiszowy na zakwasie żytnim, zamrażalnicze przechowywanie, rozmrażanie mikrofalowe, tekstura.

W pracy prezentowanej w artykule badano wpływ zamrażalniczego przechowywania (21 tygodni) i rozmrażania mikrofalowego na właściwości reologiczne chleba orkiszowego na zakwasie żytnim. Analiza krzywych ściskania i relaksacji oraz wyznaczone na ich podstawie parametry reologiczne, umożliwiły ocenę tekstury miększu chleba. Badania wykazały, że przechowywanie chleba przez 16 tygodni w warunkach zamrażalniczych ($t = -18^{\circ}\text{C}$) oraz rozmrażanie mikrofalowe pozwoliły, w dużym stopniu, zachować cechy chleba świeżego.

Key words: spelled bread sourdough rye, frozen storage, microwave thawing, texture.

It was studied in the work presented in the article the effect of frozen storage (21 weeks) and microwave thawing on rheological properties of spelled bread sourdough rye. The analysis of stress-relaxation curves and appointed on their basis rheological properties, the made possible the assessment of the texture of spelled bread sourdough rye. Study showed, that storage of spelled bread sourdough rye by 16 weeks in the frozen storage conditions ($t = -18^{\circ}\text{C}$) and microwave thawing it let, in the large degree, keep the features of fresh bread.

WSTĘP

Chleb jest jednym z podstawowych produktów piekarskich w codziennej diecie człowieka. Dostarcza on wiele niezbędnych składników odżywczych potrzebnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu [15]. Z polskich zbóż do produkcji chleba wykorzystuje się pszenicę, żyto, pszenżyto oraz orkisz (jeden z podgatunków pszenicy). Ziarno orkiszu ze względu na korzystny skład chemiczny i wysoką wartość odżywczą oraz zdrowotną coraz częściej staje się zamiennikiem typowych zbóż chlebowych [4]. Obecnie obserwujemy powrót do tradycyjnej produkcji chleba metodą klasyczną na zakwasie. Spowodowane jest to zarówno właściwościami zdrowotnymi pieczywa tak wyprodukowanego, a także zniechęceniem konsumenta do oferowanego przez producentów, chleba o identycznym smaku [5].

Chleb charakteryzuje się krótkim okresem przydatności do spożycia. Jako produkt stosunkowo nietrawny, podczas przechowywania ulega niekorzystnemu procesowi starzenia (czerstwienia), który zmienia i pogarsza jego teksturę oraz cechy sensoryczne [2, 10, 12, 17]. W celu przedłużenia trwałości chleba, obecnie wykorzystuje się wiele metod, a jedną z nich jest stosowanie procesów chłodzenia i zamrażania, zarówno na etapie produkcji chleba, a także w okresie przechowywania gotowego produktu. Czas i warunki przechowywania chleba w stanie zamrożonym oraz zastosowanie właściwej metody i parametrów rozmrażania mogą mieć znaczący wpływ na

jakość końcową chleba. Utrzymanie właściwej temperatury (-18°C) i czasu przechowywania zamrażalniczego oraz zastosowanie krótkiego czasu rozmrażania (rozmrażanie mikrofalowe) powinny zapewnić dobrą jakość chleba [11].

Ostatnio podejmowane są badania cech reologicznych pieczywa zmierzające do określenia wpływu zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania na jego jakość [12, 13, 18].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań wpływu zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego na właściwości reologiczne chleba orkiszowego na zakwasie żytnim. Zakres pracy obejmował analizę krzywych ściskania i relaksacji, niezbędnych do wyznaczenia parametrów reologicznych opisujących zmiany tekstury chleba.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowił chleb orkiszowy na zakwasie żytnim wyprodukowany w Piekarni A w Grodzisku Mazowieckim. Chleb miał kształt prostopadłościanu o wymiarach 160 x 95 x 80 mm i masę 500g.

2. Metody technologiczne

Chleb orkiszowy, bezpośrednio po wyprodukowaniu, został owinięty folią spożywczą ściśle przylegającą do jego

powierzchni, a następnie umieszczono go w komorze zamrażarki owiewowej WAECO CF-40L i poddano zamrożeniu w temperaturze -18°C . Zamrożony chleb przechowywano w komorze zamrażalniczej w temperaturze -18°C przez 1, 2, 3, 4, 10, 16 i 21 tygodni. Po danym okresie przechowywania, zamrożony chleb orkiszowy poddano procesowi rozmrażania metodą mikrofalową w kuchence mikrofalowej firmy Samsung MW87W o mocy 180W. Proces rozmrażania chleba orkiszowego prowadzono przez 5 minut do uzyskania w środku termicznym temperatury ok. 15°C , a następnie poddano go badaniom reologicznym.

3. Badania reologiczne

Z miększu chleba orkiszowego wycinano prostopadłościany o wysokości 25 mm oraz bokach podstawy 30 x 30 mm i poddano je testom ściskania i relaksacji na teksturometrze Texture Analyzer TA-XT2 firmy Stable Micro System Ltd. Badaną próbkę materiału umieszczano na płycie teksturometru i wykonano test ściskania do 50% deformacji próbki, stosując prędkość ściskania 0,5 mm/s. Po uzyskaniu żądanego stopnia deformacji przeprowadzono test relaksacji naprężeń przez 2 minuty. Za pomocą programu Texture Export Stable Mikro System Ltd zbierano dane: siła – dystans – czas, z częstotliwością 10 pomiarów na sekundę i z dokładnością $\pm 0,001$ N. Badanie reologiczne zostało przeprowadzone w 5 powtórzeniach dla każdego wariantu.

Jako materiał odwoławczy, badaniom reologicznym poddano chleb orkiszowy na zakwasie żytnim, nie poddany procesom zamrażania, przechowywania i rozmrażania.

4. Metody obliczeniowe

4.1. Obróbka matematyczna krzywych ściskania i relaksacji

Krzywe ściskania i relaksacji poddano obróbce matematycznej wykorzystując program komputerowy TableCurve 2D v5.01 (Jandel Scientific), w celu obliczenia parametrów reologicznych charakteryzujących zmiany tekstury.

Krzywa ściskania została opisana równaniem Millera i wsp. [16]:

$$F = A \cdot \varepsilon^n \quad (1)$$

gdzie: F – wielkość siły w funkcji odkształcenia ε , N ,
 A – współczynnik twardości materiału,
 n – odchylenie od prostoliniowego przebiegu krzywej ściskania; dla $n = 1$ materiał idealnie sprężysty, odchylenie od 1 oznacza zwiększenie udziału elementu lepkiego.

Pracę ściskania (W) obliczono jako pole pod krzywą ściskania wykreśloną w układzie współrzędnych siła – przesunięcie.

Krzywą relaksacji zlinearyzowano przy pomocy równania Pelega [19, 20]:

$$\frac{F_o \cdot \tau}{F_o - F_\tau} = k_1 + k_2 \cdot \tau \quad (2)$$

gdzie: F_o – początkowa wartość siły relaksacji, N ,
 F_τ – siła po czasie relaksacji τ , N ,

τ – czas relaksacji, s ,

k_1 i k_2 – parametry mające sens fizyczny. Odwrotność stałej k_2 przedstawia tę część naprężeń, która ulega relaksacji. Parametr k_2 przyjmuje wartości: $0 < k_2 < 1$.

Różniczkując równanie Pelega (2) otrzymano moduł relaksacji S_r w postaci:

$$S_r = 1 - \frac{1}{k_2} \quad (3)$$

gdzie: S_r – moduł oznaczający naprężenie, które nie było relaksowane nawet po nieskończonym czasie relaksacji. S_r przyjmuje wartości: $0 < S_r \leq 1$.

Obliczono także czas relaksacji w [s], przy którym $F_\tau = 0,75F_o$, z równania:

$$\tau_{0,75} = \frac{k_1}{4 - k_2} \quad (4)$$

4.2. Metody statystyczne

Uzyskane wyniki poddano jednoczynnikowej analizie wariancji, wykorzystując program Statgraphics Plus 5.1. Istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami weryfikowano testem Tukey'a dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$.

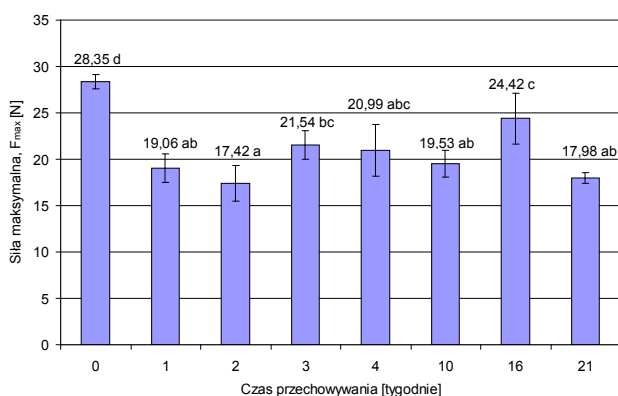
OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Poddany badaniom reologicznym miększ chleba orkiszowego na zakwasie żytnim zawierał $51,54 \pm 0,16\%$ suchej substancji i posiadał aktywność wody $0,974 \pm 0,004$.

Otrzymane krzywe ściskania i relaksacji przy 50% deformacji miększu świeżego chleba orkiszowego na zakwasie żytnim oraz zamrożonego, przechowywanego w stanie zamrożonym od 1 do 21 tygodni i rozmrożonego mikrofalowo, przebiegały w charakterystyczny sposób dla przeprowadzonego testu ściskania i relaksacji. Nie stwierdzono załamań w przebiegu krzywych ściskania, które mogłyby świadczyć o naruszeniu struktury miększu chleba. Podobny przebieg krzywych ściskania, bez naruszenia struktury miększu chleba orkiszowo-amarantusowego, otrzymał Filipčev [8]. Analiza matematyczna krzywych ściskania pozwoliła określić następujące parametry: siłę maksymalną przy 50% deformacji próbki (F_{\max}), pracę ściskania (W), współczynnik twardości miększu (A) oraz współczynnik „ n ”, a zmiany tych parametrów, podczas przechowywania chleba w stanie zamrożonym i rozmrożonego mikrofalowo, przedstawiono na rysunkach 1 – 4. Natomiast obróbka matematyczna krzywych relaksacji pozwoliła obliczyć moduł relaksacji (S_r) oraz czas relaksacji $\tau_{0,75}$, a przebieg ich zmian, podczas zamrażalniczego przechowywania chleba i rozmrożonego mikrofalowo, pokazano na rysunkach 5 i 6.

Na rysunku 1 przedstawiono wartości siły maksymalnej niezbędnej do uzyskania 50% odkształcenia miększu chleba orkiszowego na zakwasie żytnim. Największą wartość siły maksymalnej uzyskała próbka chleba świeżego, wynoszącą 28,35 N. Już po 1 tygodniu przechowywania odnotowano spadek F_{\max} o 33%, a po 2 tygodniach spadek F_{\max} był największy i wyniósł prawie 39% w odniesieniu do chleba

świeżego. Następnie, do 16 tygodnia przechowywania, F_{max} wzrastała i osiągnęła wartość 24,42 N, tj. o 14% mniejszą od wartości F_{max} dla miękiszu chleba świeżego. Dalsze przechowywanie chleba w stanie zamrożonym do 21 tygodnia, spowodowało ponowny spadek wartości F_{max} do poziomu zbliżonego dla miękiszu chleba przechowywanego 2 tygodnie. Analiza statystyczna uzyskanych wyników F_{max} wskazała, że czas przechowywania miał istotny wpływ na wartość tego parametru. Mandala [14] badając cechy reologiczne chleba z dodatkiem hydrokoloidów, przechowywanego w stanie zamrożonym i rozmrożonego mikrofalowo, stwierdził również większą wartość odkształcenia miękiszu chleba pod wpływem zastosowanej siły niż dla chleba świeżego.



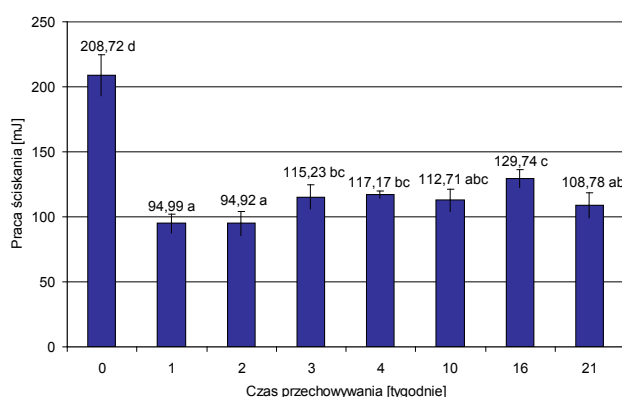
a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 1. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość siły maksymalnej (F_{max}).

Fig. 1. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on F_{max} value.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

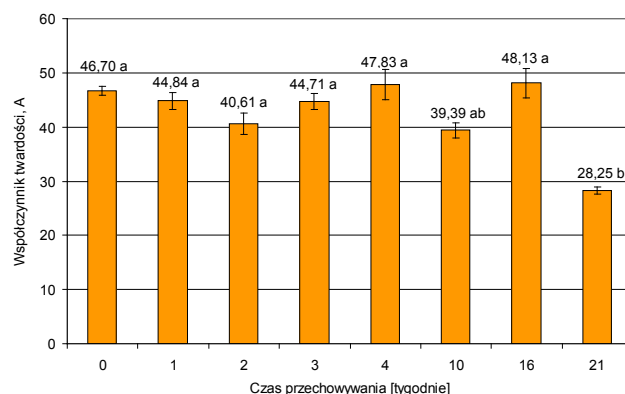
Rys. 2. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość pracy ściskania (W).

Fig. 2. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on compression work value (W).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Podobną tendencję zmian jak dla F_{max} , stwierdzono dla pracy ściskania (rys. 2). Po 2 tygodniach przechowywania odnotowano największy spadek pracy ściskania o 54,5% w odniesieniu do chleba świeżego. Następnie, wzrostowa tendencja pracy ściskania utrzymywała się do 16 tygodnia przechowywania, osiągając wartość o 38% mniejszą od wartości pracy ściskania dla miękiszu chleba świeżego. Przedłużenie czasu przechowywania do 21 tygodni spowodowało ponowny spadek pracy ściskania do 108,78 mJ, a wartość ta była o 48% mniejsza od pracy ściskania dla miękiszu chleba świeżego. Analiza statystyczna potwierdziła, że czas przechowywania miał istotny wpływ na wartość pracy ściskania.



a, b – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 3. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość współczynnika twardości (A).

Fig. 3. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on coefficient of hardness value (A).

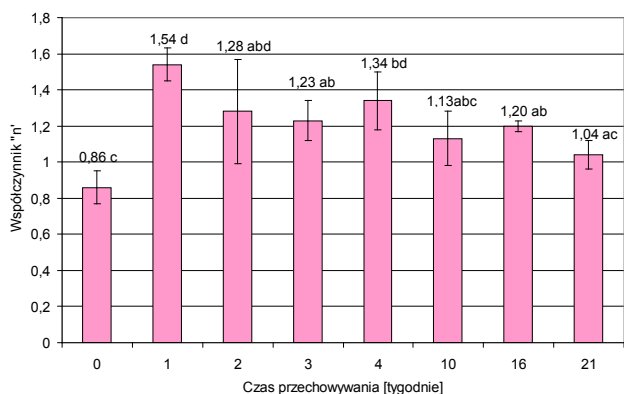
Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 3 pokazano zmiany wartości współczynnika twardości miękiszu chleba podczas zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego. Generalnie, do 16 tygodnia przechowywania wartości współczynnika A kształtowały się na zbliżonym poziomie i nie odbiegały istotnie statystycznie od wartości współczynnika twardości dla miękiszu chleba świeżego ($A = 46,70$). Natomiast, po 21 tygodniach przechowywania wartość współczynnika twardości znacząco spadła, prawie o 40% w odniesieniu do chleba świeżego, a analiza statystyczna potwierdziła istotny wpływ czasu przechowywania (21 tygodni) na analizowany parametr. Ponownie zaobserwowano zbieżny trend spadku współczynnika twardości po 21 tygodniach zamrażalniczego przechowywania, jak w przypadku parametrów F_{max} i W.

Przebieg zmian współczynnika „n” określającego odchylenie krzywej ściskania od przebiegu prostoliniowego, przedstawiono na rysunku 4. W przypadku, kiedy $n = 1$, materiał jest idealnie sprężysty, a odchylenie od 1 oznacza zwiększeniu udziału elementu lepkiego. Miększ chleba świeżego osiągnął najniższą wartość współczynnika „n”, wynoszącą 0,86. Już po 1 tygodniu przechowywania odnotowano znaczący wzrost współczynnika „n”, aż o 79%, do wartości 1,54. Tym samym znacząco pogorszyły się cechy sprężyste miękiszu chleba. W trakcie dalszego przechowywania chleba

orkiszowego, między 1 i 21 tygodniem, stwierdzono istotny spadek wartości współczynnika „n” zbliżającej się do wartości 1 (po 21 tygodniach, $n = 1,04$), a więc odnotowano istotną poprawę sprężystości miększu chleba. Analiza statystyczna potwierdziła istotny wpływ czasu przechowywania na wartość tego parametru. Prawdopodobnie zmiany właściwości sprężystych miększu chleba orkiszowego podczas zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego mogą wynikać z naruszenia struktury glutenowo-skrobiowej przez tworzące się kryształy lodu i redystrybucję wody [1, 9].



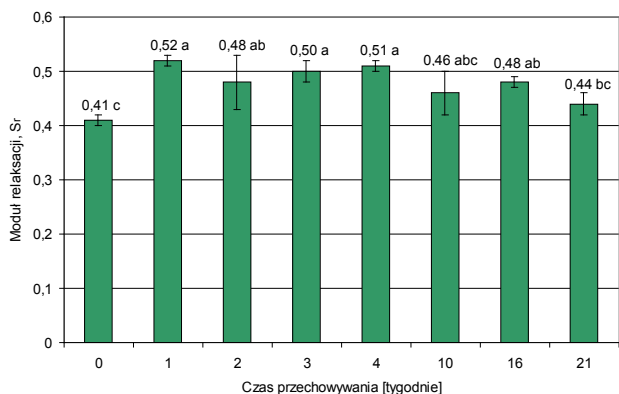
a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 4. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość współczynnika „n”.

Fig. 4. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on coefficient „n” value.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 5. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość modułu relaksacji (S_r).

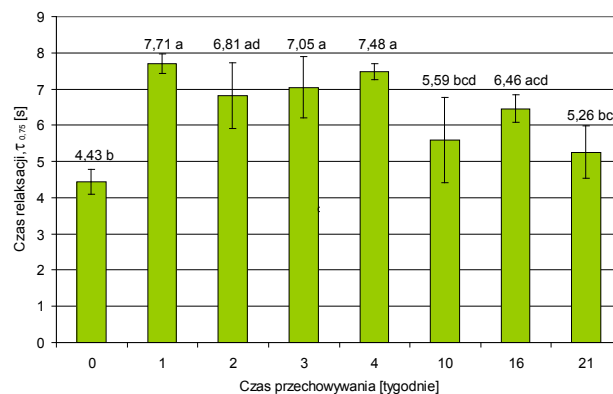
Fig. 5. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on relaxation modulus value (S_r).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmian wartości modułu relaksacji podczas przechowywania chleba orkiszowego. Po 1 tygodniu przechowywania, moduł relaksacji

wzrósł z poziomu 0,42 (chleb świeży) do wartości 0,52, czyli 0 27% (wzrost statystycznie istotny), co może świadczyć o poprawie cech sprężystych miększu chleba. W kolejnych tygodniach przechowywania chleba od 1 do 16, odnotowano niewielki spadek modułu relaksacji do poziomu 0,48 (16 tydzień przechowywania), tym niemniej zmiany te nie były statystycznie istotne. Przedłużenie czasu zamrażalniczego przechowywania chleba do 21 tygodnia, spowodowało ponowny istotny spadek S_r do wartości 0,44 (bliskiej S_r dla miększu chleba świeżego). Obniżenie wartości modułu relaksacji, od 1 do 21 tygodnia przechowywania, świadczy o spadku cech sprężystych we właściwościach lepkosprężystych miększu chleba.



a, b, c, d – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 6. Wpływ czasu przechowywania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim na wartość czasu relaksacji $\tau_{0,75}$.

Fig. 6. Effect of storage time spelled bread sourdough rye on relaxation time $\tau_{0,75}$ value.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 6 pokazano przebieg zmian czasu relaksacji $\tau_{0,75}$, przy którym $F_\tau = 0,75 F_0$. Znaczny, statystycznie istotny wzrost wartości czasu relaksacji (o 74%) stwierdzono po 1 tygodniu przechowywania. W kolejnych tygodniach przechowywania, między 1 i 4, nastąpił bardzo niewielki spadek wartości czasu relaksacji $\tau_{0,75}$ (statystycznie nieistotny), a następnie w 10 tygodniu przechowywania odnotowano statystycznie istotny spadek tego parametru do wartości 5,59. Między 10 a 21 tygodniem zamrażalniczego przechowywania, początkowo nastąpił wzrost $\tau_{0,75}$, a następnie spadek jego wartości do poziomu uzyskanego po 10 tygodniach przechowywania.

Przyczyn zmian w cechach reologicznych miększu chleba orkiszowego na zakwasie żytnim może być wiele. Jedną z nich może być proces czerstwienia przechowywanego chleba w stanie zamrożonym, wynikający ze zmian w jego właściwościach sprężysto-plastycznych, powodujących pogorszenie parametrów tekstury [3, 6]. W pieczywie mrożonym są one głównie spowodowane zmianami strukturalnymi skrobi [7]. Pomimo korzystnego wpływu zamrażania na spowolnienie procesu czerstwienia, ten sposób obróbki nie zabezpiecza pieczywa przed retrogradacją skrobi [2, 12]. Inną przyczyną zmian cech reologicznych pieczywa, obserwowaną po jego

rozrożeniu, może być proces rekrystalizacji zmierzający do wzrostu kryształów lodu, które mogą naruszać usieciowaną strukturę glutenu, odpowiedzialną za teksturę miększu pieczywa [2]. Zmiany właściwości reologicznych zarówno chleba pszennego jak i bułek pszennych podczas ich zamrażalniczego przechowywania, zostały również potwierdzone w badaniach Barcenasa i Rosella [2], Kwaśniewskiej-Karolak i wsp. [12], Kwaśniewskiej-Karolak i Krali [13] oraz Pałachy i wsp. [18].

WNIOSKI

1. Analiza parametrów reologicznych otrzymanych z testów ściskania i relaksacji pozwoliła opisać zmiany tekstury miększu chleba orkiszowego na zakwasie żytnim przechowywanego w stanie zamrożonym od 1 do 21 tygodni i rozmrożonego mikrofalowo.
2. Zmiany tekstury chleba orkiszowego wystąpiły już w pierwszym tygodniu przechowywania, a wyrazem tego był istotny spadek wartości siły maksymalnej, pracy ściskania i nieznaczny spadek współczynnika twardości, oraz istotny wzrost współczynnika „n”, modułu relaksacji i czasu relaksacji $\tau_{0,75}$.
3. Generalnie, pomiędzy 1 a 16 tygodniem przechowywania, proces starzenia chleba orkiszowego dalej postępował (zmiana parametrów reologicznych), tym niemniej tekstura miększu chleba orkiszowego w niewielkim stopniu odbiegała od tekstury miększu chleba świeżego. Natomiast wydłużenie czasu zamrażalniczego przechowywania do 21 tygodni znacząco pogorszyło teksturę miększu chleba orkiszowego.
4. Proces zamrażania chleba orkiszowego na zakwasie żytnim, jego przechowywanie przez 16 tygodni w warunkach zamrażalniczych (temperatura przechowywania (-18°C) oraz rozmrażanie metodą mikrofalową pozwoliły w dużym stopniu zachować cechy tekstury chleba świeżego.

LITERATURA

- [1] ANGIOLONI A., F. PALESTRA, G.G. PINNAVAIA, M. DALLA ROSA. 2008. „Small and large deformation test for the evaluation of frozen dough viscoelastic behavior”. *Journal of Food Engineering* 87: 527-531.
- [2] BARCENAS M.E., C.M. ROSELL. 2006. „Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging of par-baked bread”. *Food Chemistry* 95(3): 438-445.
- [3] CEGLIŃSKA A., A. SZAJEWSKA. 2004. „Czerstwienie pieczywa”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 3: 6-7.
- [4] CZERWIŃSKA G. 2009. „Walory żywieniowe i zastosowanie orkiszu”. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 2: 14-15.
- [5] DIOWKSZ A. 2006. „Pieczywo na zakwasie kluczem do zdrowia”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 1: 2-5.
- [6] FIK M. 2004. „Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości”. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* 2: 5-22.
- [7] FIK M., K. SURÓWKA. 2002. „Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread”. *Journal of Food Science and Agriculture* 82(7): 1268-1275.
- [8] FILIPČEV B.V. 2014. „Texture and stress relaxation of splot-amaranth composite breads”. *Food and Feed Research* 41(1): 1-9.
- [9] HAVET M., M. MANKAI, A. LE BAIL. 2000. „Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough”. *Journal of Food Engineering* 45: 139-145.
- [10] HUG-ITEN S., F. ESCHER, B. CONDE-PETIT. 2003. „Staling of bread: role of amylase and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes”. *Cereal Chemistry* 80(60): 654-666.
- [11] KONDRATOWICZ J., I. CHWASTOWSKA. 2006. „Wpływ różnych technologii chłodniczych na jakość wyrobów piekarniczych”. *Chłodnictwo* 8: 36-41.
- [12] KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I., L. KRALA, J. GAŁĄZKA-CZARNECKA, E. BRZOZOWSKA. 2014. „Wpływ zamrażalniczego przechowywania na zmiany skrobi i teksturę chleba pszennego”. *Chłodnictwo* 49(9-10): 34-39.
- [13] KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I., L. KRALA. 2015. „Właściwości bułek pszennych chłodzonych i głęboko mrożonych pakowanych w modyfikowanej atmosferze”. *Chłodnictwo* 50(6): 12-18.
- [14] MANDAŁA I.G. 2005. „Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids”. *Journal of Food Engineering* 66: 291-300.
- [15] MIELCARZ M. 2004. „Wartość odżywcza pieczywa i jego znaczenie dla konsumentów wymagających określonych diet” (cz. I). *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 52(10): 12-13.
- [16] MILLER B., M. PELEG, R. GONTER, E. KLEIN. 1986. „A computer aided method for the rheological characterization of solid food materials”. *Journal of Food Science* 51(1): 123-128.
- [17] NOWOTNI D., D. ČURIĆ, K. GALIĆ, D. KELVIN, S. NEDERAL, K. KRALJIĆ, D. GABRIĆ, D. JEŽEK. 2011. „Influence of frozen storage and packaging on oxidative stability and texture of bread produced by different processes”. *LWT – Food Science and Technology* 44: 643-649.
- [18] PAŁACHA Z., M. NOWOSIELSKA, P. MACH. 2015. „Wpływ zamrażalniczego przechowywania na właściwości reologiczne bułek pszennych”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 25/47(2): 29-33.
- [19] PELEG M. 1979. „Characterization of the stress-relaxation curves of solid food”. *Journal of Food Science* 44: 277-281.
- [20] PELEG M. 1980. „Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials”. *Journal of Rheology* 24: 451-463.