

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW
Mgr inż. Dorota MILEWSKA
Mgr inż. Piotr MACH
Krzysztof KRÓLIKOWSKI
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

WPŁYW ZAMRAŻALNICZEGO PRZECHOWYWANIA I ROZMRAŻANIA MIKROFALOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE CHLEBA BALTONOWSKIEGO®

Effect of frozen storage and microwave thawing on rheological properties
of baltonowski bread®

Słowa kluczowe: chleb baltonowski, zamrażalnictwo, przechowywanie, rozmrażanie mikrofalowe, tekstura.

W pracy prezentowanej w artykule badano wpływ zamrażalnictwa (21 tygodni) i rozmrażania mikrofalowego na właściwości reologiczne chleba baltonowskiego. 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 zamrażalnictwa ($t = -18^{\circ}\text{C}$) oraz rozmrażanie mikrofalowe pozwoliły, w dużym stopniu, zachować cechy chleba świeżego.

Key words: baltonowski bread, 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 baltonowski bread. The analysis of stress-relaxation curves and appointed on their basis rheological properties, the made possible the assessment of the texture of baltonowski bread. Study showed, that storage of baltonowski bread 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 „baltonowski” to pszenno-żytni chleb podstawowy, który został wprowadzony na polski rynek w latach 70-tych ubiegłego wieku. Nazwa chleba pochodzi od słowa „Baltona”, czyli przedsiębiorstwa, które zaopatrywało w chleb statki pełnomorskie. Chleb ten w niewielkim stopniu różnił się od ogólnodostępnego wtedy chleba „mazowieckiego”, którego produkcja generowała straty na rynku z powodu niskiej ceny. Wytworzenie nowego produktu jakim był chleb baltonowski, ale o wyższej cenie, i wprowadzenie go na szerszy rynek pozwoliło na poprawę gospodarki pieczywem w tym okresie [10].

Chleb w diecie człowieka jest jednym z podstawowych produktów. Uznano go za produkt, które najlepiej obrazuje żywność tradycyjną [23]. Stanowi on bardzo bogate źródło węglowodanów, ale też białka, tłuszczu, składników mineralnych, błonnika pokarmowego oraz witamin niezbędnych w diecie każdego człowieka [15, 22].

Chleb posiada krótki okres przydatności do spożycia. Jako produkt stosunkowo nietrwały, podczas przechowywania ulega niekorzystnemu procesowi starzenia (czerstwienia), który zmienia i pogarsza jego teksturę oraz cechy sensoryczne [2, 8, 11, 17]. W celu przedłużenia trwałości

chleba, wykorzystuje się wiele metod, a jedną z nich jest stosowanie procesów chłodzenia i zamrażania, zarówno na etapie produkcji, a także w okresie przechowywania gotowego produktu. Przedłużenie trwałości chleba stosowane jest nie tylko w warunkach produkcyjnych, ale także w gospodarstwach domowych. Czas i warunki przechowywania chleba w stanie zamrożonym oraz zastosowanie właściwej metody i parametrów rozmrażania, mają znaczący wpływ na końcową jakość chleba. Utrzymanie właściwej temperatury i czasu zamrażalnictwa oraz zastosowanie krótkiego czasu rozmrażania (np. rozmrażanie mikrofalowe) powinny zapewnić dobrą jakość chleba [9].

Podejmowane w ostatnim okresie badania właściwości reologicznych pieczywa zmierzają do określenia wpływu zamrażalnictwa przechowywania i rozmrażania na jego jakość [11, 12, 18, 19].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań wpływu zamrażalnictwa przechowywania i rozmrażania mikrofalowego na właściwości reologiczne chleba baltonowskiego. 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 baltonowski (pszenno-żytni) wyprodukowany przez Spółdzielnię Piekarsko Ciastkarską w Warszawie. Gramatura jednego bochenka, o długości 280 mm i szerokości 130 mm, wynosiła 650 g. Pieczywo zawierało 43% mąki pszennej, 29% mąki żytniej, wodę, sól i drożdże.

2. Metody technologiczne

Chleb baltonowski, 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 baltonowski poddano procesowi rozmrażania metodą mikrofalową w kuchence mikrofalowej firmy Samsung MV87W o mocy 180W. Proces rozmrażania chleba baltonowskiego prowadzono przez 11 minut do uzyskania w środku termicznym temperatury ok. 15°C , a następnie poddano go badaniom reologicznym.

3. Badania reologiczne

Z miękiszu chleba baltonowskiego wycinano prostopadłościanny 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 1 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 8 powtórzeniach dla każdego wariantu.

Jako materiał odwoławczy, badaniom reologicznym poddano chleb baltonowski, 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 [20, 21]:

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

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 XVIII. Istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami weryfikowano testem Tukey'a dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$.

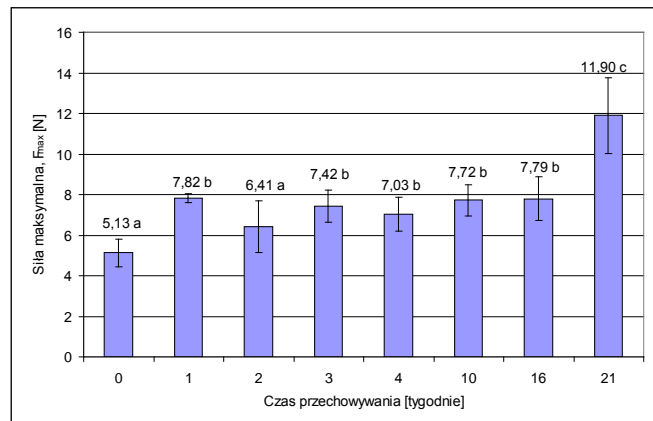
OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

Poddany badaniom reologicznym miękisz chleba baltonowskiego zawierał $54,57 \pm 0,17\%$ suchej substancji i posiadał aktywność wody $0,955 \pm 0,005$.

Otrzymane krzywe ściskania i relaksacji przy 50% deformacji miękiszu świeżego chleba baltonowskiego 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 miękiszu chleba. Podobny przebieg krzywych ściskania, bez naruszenia struktury miękiszu otrzymali dla chleba orkiszowego na zakwasie żytnim Pałacha i wsp. [19], a dla chleba orkiszowo-amarantusowego, Filipčev [6]. Analiza matematyczna krzywych ściskania pozwoliła określić następujące parametry: siłę maksymalną przy 50% deformacji próbki (F_{\max}), pracę ściskania (W), współczynnik twardości miękiszu (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.

Wartości siły maksymalnej niezbędnej do uzyskania 50% odkształcenia miękkiszu chleba baltonowskiego przedstawiono na rysunku 1.



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

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

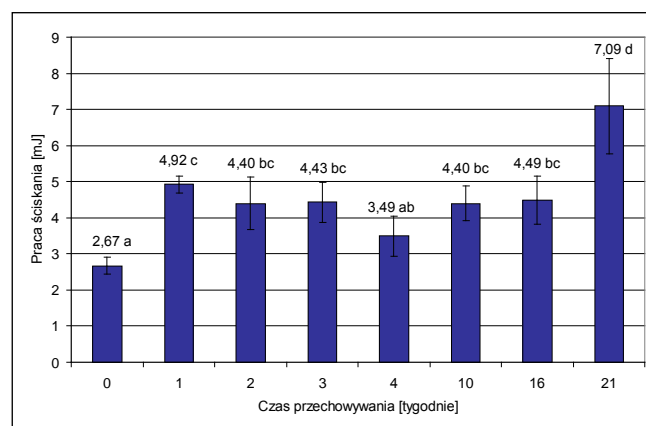
Fig. 1. Effect of storage time baltonowski bread on F_{max} value.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Najmniejszą wartość siły maksymalnej uzyskała próbka chleba świeżego, wynoszącą 5,13 N. Już po 1 tygodniu przechowywania odnotowano statystycznie istotny wzrost F_{max} o 52,4% w odniesieniu do chleba świeżego. Po 2 tygodniach przechowywania zauważono spadek wartości F_{max} do 6,41 N. Następnie, do 16 tygodnia przechowywania, F_{max} nieznacznie wzrosła i osiągnęła wartość 7,79 N, tj. o 51,8% większą od wartości F_{max} dla miękkiszu chleba świeżego. Analiza statystyczna uzyskanych wyników F_{max} wskazała, że między 3 i 16 tygodniem, czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na wartość tego parametru. Przedłużenie czasu przechowywania z 16 do 21 tygodni, spowodowało istotny statystycznie wzrost F_{max} do wartości 11,90 N, tj. o 2,3 razy większy od wartości F_{max} dla miękkiszu chleba świeżego. Mandala [13] i Mandala i Sotriakoglou [14] badając cechy reologiczne chleba z dodatkiem hydrokoloidów, przechowywanego w stanie zamrożonym i rozmrożonego mikrofalowo, również stwierdzili większą wartość odkształcenia miękkiszu tego chleba pod wpływem zastosowanej siły niż w przypadku chleba świeżego. Z kolei Pałacha i wsp. [19], badając cechy teksturalne miękkiszu chleba orkiszowego na zakwasie żytnim stwierdzili, że największą wartością F_{max} charakteryzował się miękkisz chleba świeżego i w czasie zamrażalniczego przechowywania (do 21 tygodnia) i rozmrażania mikrofalowego wartość tego parametru zmniejszyła się. Prawdopodobnie skład chemiczny pieczywa, sposób jego produkcji wpływają istotnie na strukturę wewnętrzną miękkiszu chleba, która podczas zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego ulega zmianom, czego odzwierciedleniem jest inne zachowanie się miękkiszu chleba podczas testu ściskania.

Podobną tendencję zmian jak dla F_{max} , stwierdzono dla pracy ściskania (rys. 2).



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

Rys. 2. Wpływ czasu przechowywania chleba baltonowskiego na wartość pracy ściskania (W).

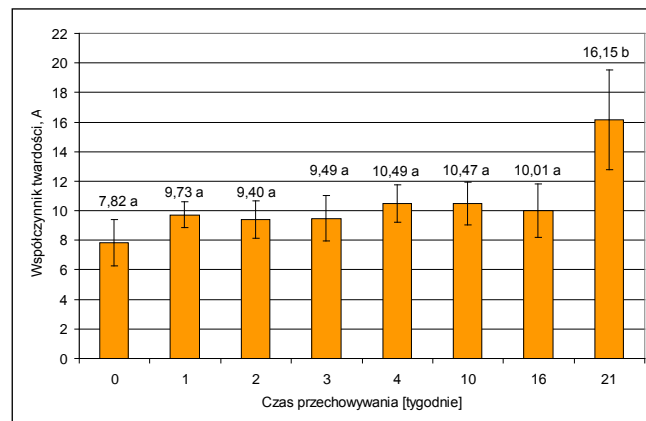
Fig. 2. Effect of storage time baltonowski bread on compression work value (W).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Po 1 tygodniu przechowywania odnotowano statystycznie istotny wzrost pracy ściskania z 2,67 mJ do 4,92 mJ, tj. o 84,3% w odniesieniu do chleba świeżego. Następnie, po 2 tygodniach przechowywania zauważono nieznaczny spadek wartości pracy ściskania do 4,40 mJ, i ten poziom wartości pracy ściskania utrzymywał się do 16 tygodnia przechowywania. Statystycznie istotny wzrost pracy ściskania odnotowano w 21 tygodniu przechowywania do wartości 7,09 mJ, i wartość ta była 2,7 razy większa od wartości pracy ściskania dla miękkiszu chleba świeżego.

Zmiany wartości współczynnika twardości (A) miękkiszu chleba baltonowskiego podczas zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego pokazano na rysunku 3.



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

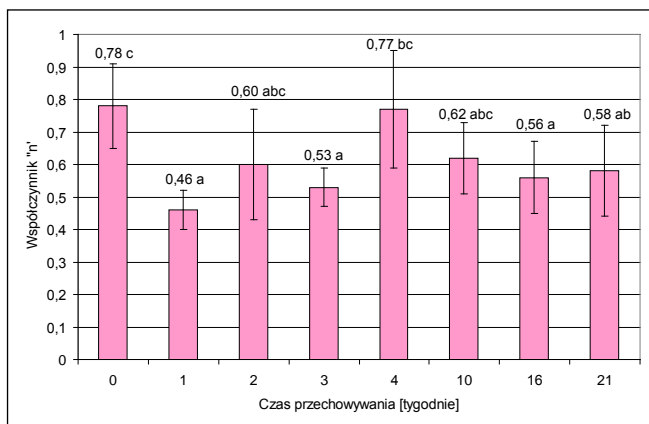
Rys. 3. Wpływ czasu przechowywania chleba baltonowskiego na wartość współczynnika twardości (A).

Fig. 3. Effect of storage time baltonowski bread on coefficient of hardness value (A).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Najniższą wartość współczynnika twardości stwierdzono dla miększu chleba świeżego, wynoszącą 7,82. Po 1 tygodniu przechowywania wartość ta wzrosła o 24,4% ($A = 9,73$). Praktycznie, do 16 tygodnia przechowywania wartości współczynnika A kształtowały się na zbliżonym poziomie i nie odbiegały istotnie statystycznie od wartości współczynnika A dla miększu chleba świeżego. Natomiast, po 21 tygodniach przechowywania wartość współczynnika twardości znacząco wzrosła, ponad 2 – krotnie w odniesieniu do miększu chleba świeżego, a analiza statystyczna potwierdziła istotny wpływ czasu przechowywania (21 tygodni) na analizowany parametr. Ponownie odnotowano zbieżny trend znacznego wzrostu współczynnika twardości po 21 tygodniach zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego, jak w przypadku parametrów F_{max} . W. Kwaśniewska-Karolak i wsp. [11] zwrócili uwagę na fakt, że podczas zamrażalniczego przechowywania chleba pszennego, proces czerstwienia nie jest całkowicie zatrzymany, a zmiany strukturalne skrobi są jedynie spowolnione. W swoich badaniach odnotowali wzrost twardości miększu chleba pszennego oraz wzrost kruchości miększu i skórki.



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

Rys. 4. Wpływ czasu przechowywania chleba baltonowskiego na wartość współczynnika „n”.

Fig. 4. Effect of storage time baltonowski bread on coefficient „n” value.

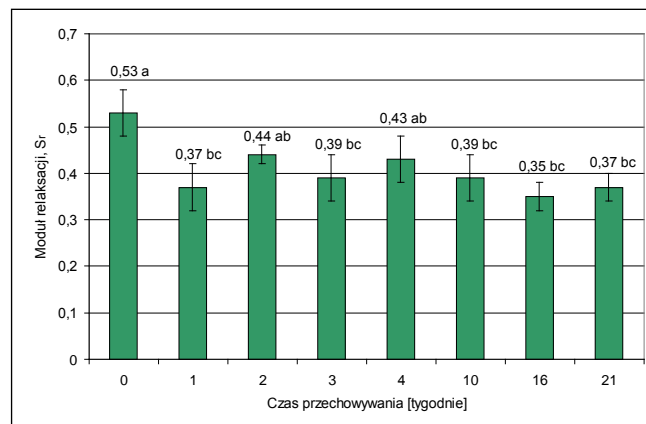
Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg zmian wartości współczynnika „n” określającego odchylenie krzywej ścisania od przebiegu prostoliniowego. Kiedy wartość $n = 1$, materiał jest idealnie sprężysty, a odchylenie od 1, oznacza zwiększenie udziału elementu lepkiego. Miększ chleba świeżego osiągnął najwyższą wartość współczynnika „n” wynoszącą 0,78. Już po 1 tygodniu przechowywania odnotowano znaczący statystycznie spadek wartości współczynnika „n” aż o 69,2%, do wartości 0,46. Po 2 i 3 tygodniach przechowywania wartość współczynnika „n” wzrosła odpowiednio do wartości 0,60 i 0,53. W 4 tygodniu przechowywania odnotowano największy statystycznie istotny wzrost wartości współczynnika „n” do poziomu zbliżonego dla miększu chleba świeżego ($n = 0,77$). W kolejnych tygodniach przechowywania chleba, od 10 do 21, stwierdzono spadek wartości współczynnika „n” od 0,62 do 0,56. Prawdopodobnie zmiany cech sprężystych miększu chleba baltonowskiego

podczas zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego mogły wynikać z naruszenia struktury glutenowo-skrobiowej przez tworzące się kryształy lodu i redystrybucję wody [1, 5, 7].

Przebieg zmian wartości modułu relaksacji podczas przechowywania chleba baltonowskiego przedstawiono na rysunku 5.



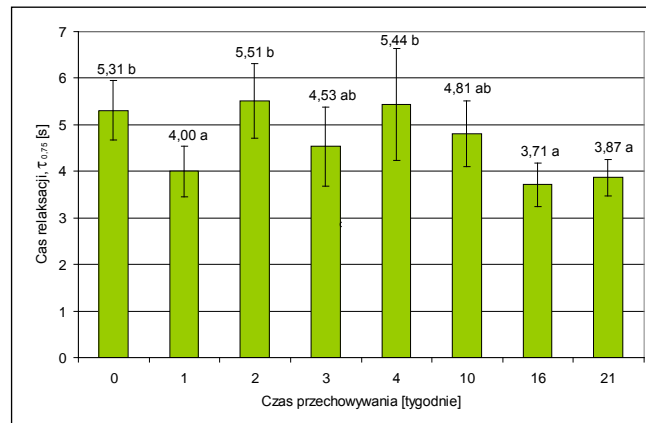
a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Rys. 5. Wpływ czasu przechowywania chleba baltonowskiego na wartość modułu relaksacji (S_r).

Fig. 5. Effect of storage time baltonowski bread on relaxation modulus value (S_r).

Źródło: Badania własne

Source: The own study



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

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

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

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Moduł relaksacji (S_r) jest parametrem charakteryzującym materiały lepkosprężyste. Zawiera się on w przedziale od 0 do 1. Im jego wartość jest bliższa 1, tym materiał charakteryzuje się lepszą relaksacją, jest bardziej sprężysty. W przypadku, gdy wartość S_r jest bliższa 0, tym materiał jest mniej sprężysty i ma charakter plastyczny [24]. Najwyższą wartość modułu relaksacji stwierdzono dla miększu chleba świeżego, wynoszącą 0,53. Po 1 tygodniu przechowywania wartość

S_r obniżyła się statystycznie istotnie do poziomu 0,37, czyli o 30%. W kolejnych tygodniach przechowywania chleba, od 2 do 21, odnotowano niewielką fluktuację wartości S_r , tym niemniej, zmiany te nie były statystycznie istotne. Obniżenie się wartości modułu relaksacji miękiszu chleba baltonowskiego, od 1 do 21 tygodnia przechowywania, świadczy o pogorszeniu się cech sprężystych miękiszu chleba.

Na rysunku 6 przedstawiono przebieg zmian czasu relaksacji $\tau_{0,75}$, przy którym $F_r = 0,75 F_0$. Znaczący, statystycznie istotny spadek wartości czasu relaksacji (o 25%) stwierdzono po 1 tygodniu przechowywania. W kolejnych tygodniach przechowywania, między 1 i 4, nastąpił wzrost wartości czasu relaksacji $\tau_{0,75}$ (statystycznie istotny), do poziomu zbliżonego dla miękiszu chleba świeżego. Od 4 do 16 tygodnia przechowywania odnotowano ponownie statystycznie istotny spadek tego parametru do wartości 3,71. Dalsze przechowywanie chleba do 21 tygodnia, praktycznie nie spowodowało zmiany wartości $\tau_{0,75}$.

Zmiana cech reologicznych miękiszu chleba baltonowskiego podczas jego przechowywania w stanie zamrożonym może wynikać z kilku przyczyn. Jedną z nich jest proces czerstwienia chleba przechowywanego w stanie zamrożonym, wynikający ze zmian w jego właściwościach sprężysto-plastycznych, powodujących pogorszenie parametrów tekstury [3, 4]. W pieczywie mrożonym są one spowodowane głównie zmianami strukturalnymi skrobi [5]. Pomimo, że proces zamrażania spowalnia proces czerstwienia, tym niemniej nie zabezpiecza całkowicie pieczywa przed retrogradacją skrobi [2, 11]. Inną ważną przyczyną zmian cech reologicznych pieczywa, obserwowaną po jego rozmrożeniu, może być proces rekrystalizacji, zmierzający do wzrostu kryształów lodu, które mogą zmieniać usieciowaną strukturę glutenu, odpowiedzialną za teksturę miękiszu pieczywa [2].

Zmiany właściwości reologicznych różnych gatunków pieczywa podczas ich przechowywania w stanie zamrożonym, zostały również potwierdzone w literaturze. Wzrost twardości chleba pszenne i bułek pszennych podczas ich przechowywania w stanie zamrożonym potwierdzili Barceñas i Rosell [2], Kwaśniewska-Karolak i wsp. [11], Kwaśniewska-Karolak i Krala [12] oraz Pałacha i wsp. [18]. Z kolei Pałacha i wsp. [19] stwierdzili zmiany tekstury chleba orkiszowego na zakwasie żytnim przechowywanego w stanie zamrożonym. Uznali jednak, że 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.

WNIOSKI

1. Parametry reologiczne otrzymane z testów ściskania i relaksacji pozwoliły opisać zmiany tekstury miękiszu chleba baltonowskiego przechowywanego w stanie zamrożonym od 1 do 21 tygodni i rozmrożonego mikrofalowo.
2. Zmiany tekstury miękiszu chleba baltonowskiego pojawiły się już w pierwszym tygodniu przechowywania, a wraz z tymi zmianami był istotny wzrost wartości siły maksymalnej, pracy ściskania i nieznaczny wzrost współczynnika twardości, oraz istotny spadek współczynnika „n”, modułu relaksacji i czasu relaksacji $\tau_{0,75}$.

3. Ogólnie, pomiędzy 1 a 16 tygodniem przechowywania, proces starzenia chleba baltonowskiego dalej postępował (zmiana wartości parametrów reologicznych), tym niemniej tekstura miękiszu chleba baltonowskiego nieznacznie odbiegała od tekstury miękiszu chleba świeżego. Z kolei, wydłużenie czasu zamrażalniczego przechowywania do 21 tygodni znacząco pogorszyło teksturę miękiszu chleba baltonowskiego.
4. Proces zamrażania chleba baltonowskiego, jego przechowywanie przez 16 tygodni w warunkach zamrażalniczych oraz rozmrażanie metodą mikrofalową umożliwiły 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] FIK M. 2004. „Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości”. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* 2: 5-22.
- [5] 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.
- [6] FILIPČEV B.V. 2014. „Texture and stress relaxation of splot-amaranth composite breads”. *Food and Feed Research* 41(1): 1-9.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] KONDRATOWICZ J., I. CHWASTOWSKA. 2006. „Wpływ różnych technologii chłodniczych na jakość wyrobów piekarniczych”. *Chłodnictwo* 8: 36-41.
- [10] KOWNACKI J. 2003. „Poucżąca historia. Chleb baltonowski – skąd ta nazwa?”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 51(9): 22.
- [11] KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I., L. KRALA, I. GAŁĄZKA-CZARNECKA, E. BRZOZOWSKA. 2014. „Wpływ zamrażalniczego przechowywania na zmiany skrobi i teksturę chleba pszenne”. *Chłodnictwo* 49(9-10): 34-39.

- [12] **KWAŚNIEWSKA-KAROLAKI, L. KRALA. 2015.** „Właściwości bułek pszennych chłodzonych i głęboko mrożonych pakowanych w modyfikowanej atmosferze”. *Chłodnictwo* 50(6): 12-18.
- [13] **MANDALA I.G. 2005.** „Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids”. *Journal of Food Engineering* 66: 291-300.
- [14] **MANDALA I.G., K. SOTRIAKOGLU. 2005.** „Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids”. *Food Hydrocolloids* 19: 709-719.
- [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. ĆURIĆ, K. GALIĆ, D. KELVIN, S. NEDERAL, K. KRALJIĆ, D. GABRIĆ, D. JE-
ŽEK. 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] **PAŁACHA Z., M. ZIMNA, P. MACH. 2016.** „Wpływ zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania mikrofalowego na właściwości reologiczne chleba orkiszowego na zakwasie żytnim”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 26/48(1): 9-13.
- [20] **PELEG M. 1979.** „Characterization of the stress-relaxation curves of solid food”. *Journal of Food Science* 44: 277-281.
- [21] **PELEG M. 1980.** „Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials”. *Journal of Rheology* 24: 451-463.
- [22] **ROMANKIEWICZ D., G. CACAK-PIETRZAK, K. KANIA. 2014.** „Wpływ metody prowadzenia ciasta na zmiany tekstury przechowywanego pieczywa pszenne”. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 579: 67-77.
- [23] **SAJDAKOWSKA M., S. ŻAKOWSKA-BIEMAS. 2009.** „Postrzeganie żywności tradycyjnej przez polskich konsumentów na podstawie badań jakościowych”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 3(64): 95-104.
- [24] **STANKIEWICZ A. 2012.** „Wyznaczanie modułu relaksacji na podstawie pomiarów naprężenia w rzeczywistym cieście relaksacji”. *Inżynieria Rolnicza* 4(139): 401-409.