

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW

Mgr inż. Milena NOWOSIELSKA

Mgr inż. Piotr MACH

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

WPŁYW ZAMRAŻALNICZEGO PRZECHOWYWANIA NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE BUŁEK PSZENNYCH®

Effect of Frozen storage on rheological properties of wheat rolls®

Słowa kluczowe: bułki pszenne (kajzerki), zamrażalnictwo, przechowywanie, tekstura.

W pracy prezentowanej w artykule badano wpływ zamrażalnictwa (20 tygodni) na właściwości reologiczne bułek pszennych (kajzerki). Analiza krzywych ściskania i relaksacji oraz wyznaczone na ich podstawie parametry reologiczne, umożliwiły ocenę tekstury miększu bułek. Badania wykazały, że przechowywanie bułek pszennych przez 20 tygodni w warunkach zamrażalnictwa ($t = -18^{\circ}\text{C}$) pozwoliło, w dużym stopniu, zachować cechy pieczywa świeżego.

Key words: wheat rolls, frozen storage, texture.

It was studied in the work presented in the article the effect of frozen storage (20 weeks) on rheological properties of wheat rolls. The analysis of stress-relaxation curves and appointed on their basis rheological parameters, they made possible the assessment of the texture of rolls crumb. Study showed, that storage of wheat rolls by 20 weeks in the frozen storage conditions ($t = -18^{\circ}\text{C}$) it let, in the large degree, keep the features of fresh bread.

WSTĘP

Bułki pszenne są jednym z podstawowych produktów piekarskich w codziennej diecie człowieka. Są ważnym źródłem składników energetycznych, budulcowych i regulujących [1, 10]. Jako produkty stosunkowo nietrwałe, podczas przechowywania mogą ulegać niekorzystnym przemianom o charakterze fizycznym, chemicznym i biologicznym. Za bardzo niekorzystną zmianę uważa się proces starzenia się pieczywa (czerstwienia), zmieniający i pogarszający jego teksturę. Stopniowo następuje spadek elastyczności miększu, wzrost jego kruchości i twardości. Istotnie zmieniają się także cechy sensoryczne. W miarę postępu procesu czerstwienia pieczywo traci nie tylko charakterystyczny zapach, zanika także chrupkość skórki, zwłaszcza w przypadku bułek [3, 7, 8, 9, 12, 19].

Obecnie wykorzystuje się wiele metod przedłużania trwałości produktów piekarskich. Jedną z nich jest stosowanie procesów chłodzenia i zamrażania, zarówno na etapie produkcji pieczywa, jak i w okresie przechowywania gotowego wyrobu. Stosowana technologia „odroczonego wypieku” polegająca na wyprodukowaniu w piekarni kęsów ciasta lub też podpieczonych kęsów ciasta, zamrożeniu ich w temperaturze ok. -30°C i dostarczeniu w stanie zamrożonym do miejsca wypieku, posiada wiele zalet [2, 16, 17, 18]. Do korzyści wynikających ze stosowania odroczonego wypieku należy zaliczyć: możliwość produkowania pieczywa „na zapas” (ograniczenie pracy nocą), lepszą organizację pracy w piekarni, efektywniejsze wykorzystanie maszyn i urządzeń, zróżnicowanie asortymentu i poprawę jakości pieczywa, ograniczenie strat produkcyjnych oraz ciągłą dystrybucję ciepłego pieczywa [15].

Coraz częściej podejmowane są badania zmierzające do określenia wpływu technologii odroczonego wypieku na

jakość pieczywa [8, 9, 17, 18]. Wydaje się, że badanie cech reologicznych pieczywa otrzymanego w procesie odroczonego wypieku oraz ich analiza, pozwolą bardziej dogłębnie ocenić jego jakość.

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań wpływu zamrażalnictwa przechowywania na właściwości reologiczne bułek kajzerki. Zakres pracy obejmował analizę krzywych ściskania i relaksacji, niezbędnych do wyznaczenia parametrów reologicznych opisujących zmiany tekstury bułek.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Materiał badawczy stanowiły bułki pszenne kajzerki wyprodukowane w Piekarni A w Warszawie.

2. Metody technologiczne

Do badań wykorzystano bułkę kajzerkę zapieczoną, zamrożoną, rozmrożoną i odpieczoną. Przygotowane ciasto pszenne, podzielono na kęsy, uformowano, nacięto, poddano rozrostowi i zapieczono do 3/4 czasu odpieku. Następnie zapieczone bułki kajzerki zamrożono metodą owiewową w zamrażarce taśmowo-spiralnej HEINEN arctic a7/26 w temperaturze powietrza mrozącego ok. -30°C , do uzyskania w centrum geometrycznym bułki temperatury ok. -18°C . Zamrożone bułki przechowywano w komorze zamrażalniczej w temperaturze -18°C przez 1, 2, 3, 4, 9 i 20 tygodni. Po danym okresie przechowywania, zamrożone bułki poddano procesowi rozmrażania w powietrzu (konwekcja naturalna) w temperaturze pokojowej. Rozmrożone bułki poddano odpieczeniu w piecu wsadowym w temperaturze 235°C w górnej części pieca i 215°C w dolnej części pieca (temperatura trzonu) przez 4 minuty (1/4 czasu odpieku). Po odpieczeniu,

bulki zostały schłodzone w powietrzu (konwekcja naturalna) do uzyskania w środku termicznym temperatury ok. 19°C, a następnie poddano je badaniom reologicznym.

3. Badania reologiczne

Z miększu bułek 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 uzyskaniużądanego stopnia deformacji przeprowadzono test relaksacji naprężenia 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 bulki kajzerki świeże, nie poddane 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, w celu obliczenia parametrów reologicznych charakteryzujących zmiany tekstury.

Krzywa ściskania została opisana równaniem Millera i wsp. [11]:

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

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 – przesuwanie.

Krzywą relaksacji zlinearyzowano przy pomocy równania Pelega [13, 14]:

$$\frac{F_0 \cdot \tau}{F_0 - F_\tau} = k_1 + k_2 \cdot \tau \quad (2)$$

gdzie: F_0 – 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 naprężenia, 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 [s], przy którym $F_\tau = 0,75F_0$, z równania:

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

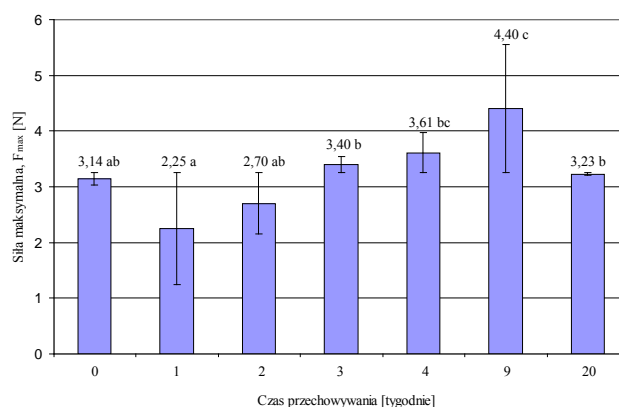
4.2. Metody statystyczne

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

Otrzymane krzywe ściskania i relaksacji przy 50% deformacji miększu bułek kajzerki świeżych oraz zamrożonych, przechowywanych w stanie zamrożonym od 1 do 20 tygodni i rozmrożonych, przebiegały w charakterystyczny sposób dla przeprowadzonego testu ściskania i relaksacji. Nie stwierdzono załamań w przebiegu krzywych ściskania, które mogłyby świadczyć o uszkodzeniu struktury miększu bułek. 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 bułek w stanie zamrożonym, przedstawiono na rysunkach 1 – 4. Z kolei obróbka matematyczna krzywych relaksacji pozwoliła obliczyć moduł relaksacji (S_r) oraz czas relaksacji $\tau_{0,75}$, a przebieg ich zmian, podczas przechowywania bułek w stanie zamrożonym, pokazano na rysunkach 5 i 6.

Wartości siły maksymalnej niezbędnej do uzyskania 50% odkształcenia miększu bułek przedstawiono na rysunku 1.



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

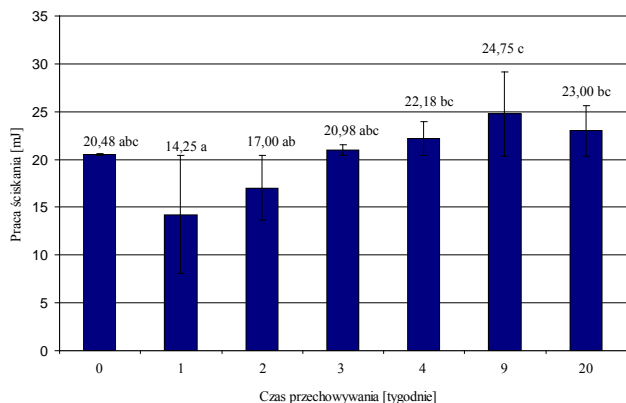
Rys. 1. Wpływ czasu przechowywania bułek pszennych na wartość siły maksymalnej (F_{max}).

Fig. 1. Effect of storage time wheat rolls on F_{max} value.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Już po 1 tygodniu przechowywania odnotowano spadek F_{max} o 28% w odniesieniu do bułek świeżych. Następnie, do 9 tygodnia przechowywania, F_{max} wzrastała i osiągnęła wartość 4,4 N, tj. o 40% większą od wartości F_{max} dla mięksizu bułek świeżych. Dalsze przechowywanie bułek w stanie zamrożonym do 20 tygodnia, spowodowało ponowny spadek wartości F_{max} do poziomu zbliżonego dla mięksizu bułek świeżych. Analiza statystyczna uzyskanych wyników F_{max} wskazała, że do 2 tygodnia przechowywania, czas przechowywania nie miał istotnego wpływu na ten parametr. Natomiast od 3 do 9 tygodnia przechowywania, stwierdzono istotny wpływ czasu przechowywania na wartość tego parametru.



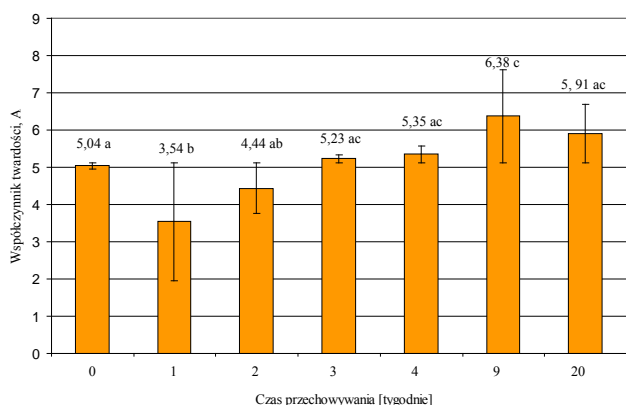
a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$.

Rys. 2. Wpływ czasu przechowywania bułek pszennych na wartość pracy ściskania (W).

Fig. 2. Effect of storage time wheat rolls on compression work value (W).

Źródło: Badania własne

Source: The own study



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

Rys. 3. Wpływ czasu przechowywania bułek pszennych na wartość współczynnika twardości (A).

Fig. 3. Effect of storage time wheat rolls on coefficient of hardness value (A).

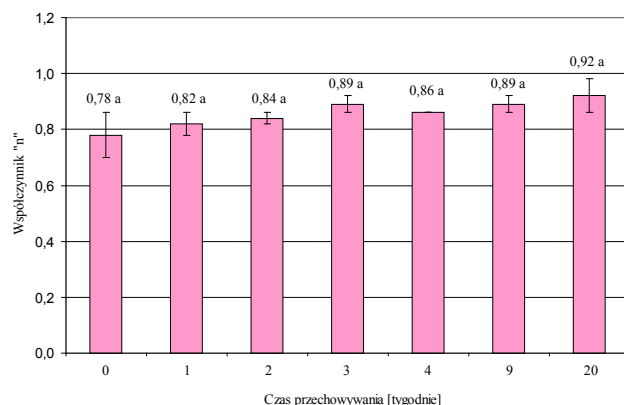
Źródło: Badania własne

Source: The own study

Analogiczną tendencję zmian jak dla F_{max} , odnotowano dla pracy ściskania (rys. 2). Po 1 tygodniu przechowywania stwierdzono spadek pracy ściskania o 30% w odniesieniu do bułek świeżych. Następnie, wzrostowa tendencja pracy ściskania utrzymywała się do 9 tygodnia przechowywania,

osiągając wartość o 21% większą od wartości W dla mięksizu bułek świeżych. Przedłużenie czasu przechowywania do 20 tygodni spowodowało ponowny spadek pracy ściskania do 23 mJ. Tym niemniej, wartość ta była o 12% większa od pracy ściskania dla mięksizu bułek świeżych. Analiza statystyczna potwierdziła podobną tendencję, jaką odnotowano dla siły maksymalnej.

Zmiany wartości współczynnika twardości mięksizu bułek podczas przechowywania pokazano na rysunku 3. Po 1 tygodniu przechowywania, twardość mięksizu bułek obniżyła się prawie o 30%, analogicznie jak parametry F_{max} i W, a następnie wzrastała w kolejnych tygodniach przechowywania, osiągając zdecydowanie najwyższą wartość w 9 tygodniu przechowywania (o 27% wyższą od wartości współczynnika twardości dla bułek świeżych). Ponownie zaobserwowano zbieżny trend spadku współczynnika twardości po 20 tygodniach przechowywania, jak w przypadku parametrów F_{max} i W.



a – wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$.

Rys. 4. Wpływ czasu przechowywania bułek pszennych na wartość współczynnika „n”.

Fig. 4. Effect of storage time wheat rolls on coefficient „n” value.

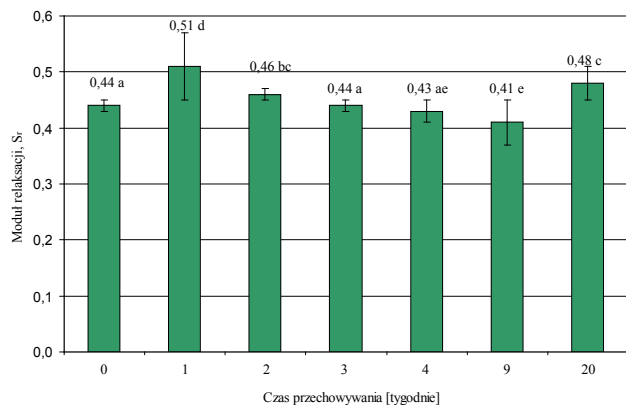
Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg zmian współczynnika „n” określającego odchylenie krzywej ściskania od przebiegu prostoliniowego. W przypadku, kiedy $n = 1$, mamy do czynienia z materiałem idealnie sprężystym, a odchylenie od 1, oznacza zwiększenie udziału elementu lepkiego. Mięksiz bułki świeżej osiągnął najniższą wartość współczynnika „n” wynoszącą 0,78. W trakcie przechowywania bułek, między 1 i 20 tygodniem, stwierdzono nieznaczny wzrost wartości współczynnika „n”, a tym samym odnotowano niewielką poprawę sprężystości mięksizu bułek. Tym niemniej, analiza statystyczna uzyskanych wyników nie potwierdziła wpływu czasu przechowywania na wartość tego parametru.

Przebieg zmian wartości modułu relaksacji podczas przechowywania bułek przedstawiono na rysunku 5. Po 1 tygodniu przechowywania, moduł relaksacji wzrósł z poziomu 0,44 (bułki świeże) do wartości 0,51, czyli o 16% (wzrost istotny statystycznie). W kolejnych tygodniach przechowywania bułek, odnotowano spadek modułu relaksacji do poziomu 0,41 (9 tydzień przechowywania). Dalsze przechowywanie bułek w stanie zamrożonym do 20 tygodnia, spowo-

dowało ponowny istotny wzrost S_r do wartości 0,48. Analiza statystyczna wskazała, że od 1 do 20 tygodnia przechowywania, czas przechowywania miał istotny wpływ na parametr S_r . Obniżenie wartości modułu relaksacji od 1 do 9 tygodnia przechowywania, świadczy o spadku cech sprężystych we właściwościach lepkosprężystych miększu bułek.



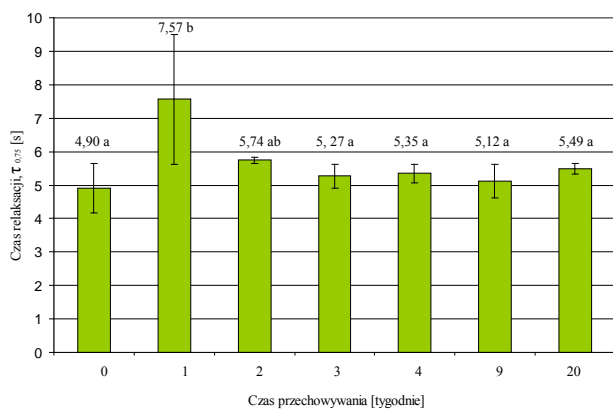
a, b, c, d, e – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$.

Rys. 5. Wpływ czasu przechowywania bułek pszennych na wartość modułu relaksacji (S_r).

Fig. 5. Effect of storage time wheat rolls 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 bułek pszennych na wartość czasu relaksacji $\tau_{0,75}$.

Fig. 6. Effect of storage time wheat rolls 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 $F_\tau = 0,75F_0$. Znaczny, istotny statystycznie wzrost wartości $\tau_{0,75}$ (o 54%) odnotowano po 1 tygodniu przechowywania. W kolejnych tygodniach przechowywania nastąpił spadek wartości czasu relaksacji $\tau_{0,75}$, przy czym były one wyższe niż dla bułki świeżej. Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy pomiędzy wartościami czasu relaksacji $\tau_{0,75}$ dla bułki świeżej, a przechowywanej przez okres od 2 do 20 tygodni.

Przedstawione i omówione zmiany właściwości reologicznych bułek kajerek podczas ich przechowywania w stanie zamrożonym, zostały również potwierdzone w literaturze. Kwaśniewska-Karolak i Krala [9] badali m.in. twardość miększu bułek kajerek głęboko zamrożonych i przechowywanych w temperaturze -20°C przez 10 tygodni. Stwierdzili oni, że już po 1 tygodniu przechowywania twardość miększu bułek zmalała o około 34%, a następnie wzrosła, osiągając największą wartość twardości (wzrost o 70%) po 9 tygodniach przechowywania. Wzrost twardości chleba pszenego podczas jego przechowywania w stanie zamrożonym potwierdzili również Barcenás i Rosell [3]. Przyczyn pogarszania się cech reologicznych miększu bułek podczas ich przechowywania w stanie zamrożonym może być wiele. Jedną z nich może być proces czerstwienia przechowywanego pieczywa związany ze zmianami jego właściwości sprężysto-plastycznych, powodujących pogorszenie parametrów tekstury [4, 5]. W pieczywie mrożonym są one spowodowane przede wszystkim zmianami strukturalnymi skrobi [6]. Pomimo korzystnego wpływu zamrażania na spowolnienie czerstwienia, ten sposób obróbki nie zabezpiecza pieczywa przed retrogradacją skrobi [3, 8]. Inną przyczyną wzrostu twardości pieczywa, obserwowaną po jego rozmrożeniu, jest wzrost kryształów lodu, które mogą zakłócać lub zmieniać usieciowaną strukturę glutenu, odpowiedzialną za teksturę miększu [3].

WNIOSKI

1. Analiza parametrów reologicznych otrzymanych z testów ściskania i relaksacji, pozwoliła opisać zmiany tekstury miększu bułek kajerek przechowywanych w stanie zamrożonym od 1 do 20 tygodni.
2. Zmiany tekstury bułek kajerek wystąpiły już w pierwszym tygodniu przechowywania, a wyrazem tego był istotny spadek wartości F_{\max} , pracy ściskania i współczynnika twardości oraz istotny wzrost modułu relaksacji i czasu relaksacji $\tau_{0,75}$.
3. Ogólnie, pomiędzy 1 a 9 tygodniem przechowywania, proces starzenia bułek kajerek dalej postępował (zmiana wartości parametrów reologicznych), tym niemniej tekstura miększu bułek nieznacznie odbiegała od tekstury miększu bułek świeżych.
4. Proces zamrażania bułek kajerek oraz ich przechowywanie przez 20 tygodni w warunkach zamrażalniczych (temperatura składowania -18°C) pozwoliły w dużym stopniu zachować cechy tekstury pieczywa świeżego.

LITERATURA

- [1] **AMBROZIAK Z. 1998.** Piekarnictwo i Cukiernictwo. Warszawa: WNT.
- [2] **AMBROZIAK Z., NERYNG A., PIESIEWICZ H., STASZEWSKA E., JANIK M., WASILUK M. 2001.** „Optymalizacja procesu odroczonego wypieku pieczywa żytniego i mieszanego”. Przegląd Piekarski i Cukierniczy 49 (1): 2–6.
- [3] **BARCENAS M.E., ROSELL C.M. 2006.** „Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging of par-baked bread”. Food Chemistry 95 (3): 438–445.

- [4] **CEGLIŃSKA A., SZAJEWSKA A. 2004.** „Czerstwienie pieczywa”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* (3): 6–7.
- [5] **FIK M. 2004.** „Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości”. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* (2): 5–22.
- [6] **FIK M., SURÓWKA K. 2002.** „Efekt of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread”. *Journal of Food Science and Agriculture* 82(7): 1268–1275.
- [7] **HUG-ITEN S., ESCHER F., CONDE-PETIT B. 2003.** „Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch–degrading enzymes”. *Cereal Chemistry* 80(60): 654–666.
- [8] **KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I., KRALA L., GAŁĄZKA-CZARNECKA I., BRZOZOWSKA E. 2014.** „Wpływ zamrażalniczego przechowywania na zmiany skrobi i teksturę chleba pszennego”. *Chłodnictwo* 49(9–10): 34–39.
- [9] **KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I., KRALA L. 2015.** „Właściwości bułek pszennych chłodzonych i głęboko mrożonych pakowanych w modyfikowanej atmosferze”. *Chłodnictwo* 50(6): 12–18.
- [10] **MIELCARZ M. 2004.** „Wartość odżywcza pieczywa i jego znaczenie dla konsumentów wymagających określonych diet (cz. I)”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 52(10): 12–13.
- [11] **MILLER B., PELEG M., GONTER R., KLEIN E. 1986.** „A computer aided method for the rheological characterization of solid food materials”. *Journal of Food Science* 51(1): 123–128.
- [12] **NOVOTNI D., ČURIĆ D., GALIĆ K., ŠKEVIN D., NEDERAL S., KRALJIĆ K., GABRIĆ D., JEŽEK D. 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.
- [13] **PELEG M. 1979.** „Characterization of the stress–relaxation curves of solid food”. *Journal of Food Science* 44: 277–281.
- [14] **PELEG M. 1980.** „Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials”. *Journal of Rheology* 24: 451–463.
- [15] **PIESIEWICZ H. 1997.** „Zamrażanie ciasta w kontekście wymagań jakościowych dla drożdży piekarskich”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 45(12): 4–7.
- [16] **PROSZYŃSKA K. 2001.** „Pieczywo mrożone i wstępnie podpieczone”. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 49(11): 52.
- [17] **SOBCZYK M. 2009.** „Ocena jakości pieczywa pszenego otrzymanego metodą odroczonego wypieku”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 19/34(1): 37–40.
- [18] **SOBCZYK M. 2010.** „Wpływ czasu rozrostu końcowego na jakość bułek pszennych otrzymanych metodą odroczonego wypieku”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 20/37(2): 25–29.
- [19] **YI J., KERR W.L. 2009.** „Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors”. *Journal of Food Engineering* 93: 495–501.