

AGATA MARZEC, ARLETA MIESZKOWSKA, URSZULA STAŃCZYK

WPLYW CZASU PRZECHOWYWANIA W WARUNKACH ZAMRAŻALNICZYCH NA TEKSTURĘ CHLEBA SŁONECZNIKOWEGO Z ODROZONEGO WYPIEKU

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu czasu przechowywania w warunkach zamrażalniczych chleba słonecznikowego z odroczonego wypieku na zmiany zachodzące w jego teksturze. Badaniom poddano półwypieczony chleb słonecznikowy: A – pochodzący bezpośrednio z produkcji oraz B – przetrzymywany przez 6 miesięcy w kontrolowanej temperaturze $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Półprodukty A i B przechowywano w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po 1, 4, 7 i 16 tygodniach wypiekano pieczywo A i B oraz po 21 tygodniach – tylko pieczywo B. Następnie przeprowadzono badania aktywności wody, porowatości i tekstury miękkiszu chleba. Wykonano testy podwójnego ściskania (TPA) w teksturometrze TA-XT2i. Pomiar emisji akustycznej metodą kontaktową przeprowadzono podczas testu ściskania miękkiszu chleba, w maszynie wytrzymałościowej ZWICK. Tekstura chleba słonecznikowego A i B z odroczonego wypieku istotnie zmieniła się w trakcie przechowywania w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. W czasie składowania stwierdzono tendencję do zmniejszania się twardości oraz zwiększenia kohezji miękkiszu chleba słonecznikowego A i B. Istotne zmiany parametrów emisji akustycznej (amplitudy, energii akustycznej oraz liczby zdarzeń EA) w chlebie słonecznikowym A wystąpiły po 4 tygodniach przechowywania, a w chlebie B – po 16. W analizie PCA potwierdzono, że tekstura miękkiszu chleba A ulegała ciągłym zmianom w ciągu 16 tygodni przechowywania, natomiast miękkisz chleba B po 1 tygodniu i po 4 tygodniach wykazywał podobną teksturę, a istotne jej zmiany wystąpiły dopiero po 7 tygodniach przechowywania. Przechowywanie chleba słonecznikowego przez 6 miesięcy w kontrolowanych warunkach spowodowało, że po rozmrożeniu i dopieczeniu charakteryzował się on teksturą miękkiszu podobną do chleba pochodzącego bezpośrednio z produkcji i przechowywanego przez 4 tygodnie w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Słowa kluczowe: chleb słonecznikowy półwypieczony, przechowywanie, tekstura, właściwości mechaniczne, emisja akustyczna

Wprowadzenie

Chleb należy do produktów żywnościowych o krótkim terminie przydatności do spożycia. Zmiany fizykochemiczne zachodzące w nim podczas przechowywania nazywane czerstwieniem zaczynają się bezpośrednio po jego wyjęciu z pieca i prowadzą do pogorszenia cech sensorycznych: smaku i tekstury. Wykazano, że czerstwienie chleba powodowane jest przemianami skrobi, interakcjami skrobi i glutenu oraz redystrybucją wilgoci [8, 18]. Mimo że proces czerstwienia pieczywa badany jest od ponad pół wieku, nie udało się go wyeliminować i nadal jest odpowiedzialny za ogromne straty ekonomiczne zarówno w przemyśle piekarskim, jak i w gospodarstwach domowych [6]. Zapotrzebowanie konsumentów na świeże pieczywo o każdej porze dnia spowodowało wzrost wykorzystania technologii zamrażania przez przemysł piekarski [13].

Utrwalanie zamrażalnicze pieczywa jest szczególnie przydatne w systemie wypieku odroczonego, eliminuje problem rozwoju mikroflory, pozwala na ostateczne wypieczenie i otrzymanie świeżego produktu w dowolnym czasie oraz ułatwia organizację procesu produkcji [11]. Aby uzyskać produkt finalny o dobrej jakości, konieczne jest jednak monitorowanie parametrów przechowywania. Niska i stabilna temperatura przechowywania wpływa na zachowanie odpowiednich cech sensorycznych, w tym tekstury pieczywa.

Ważną cechą tekstury chleba jest twardość, jako atrybut najczęściej oceniany i rozpoznawany przez konsumenta [9]. Twardość może być oceniana instrumentalnie poprzez pomiar siły ściskania pieczywa. Do oceny jakości pieczywa stosuje się również metodę akustyczną, polegającą na pomiarze i analizie dźwięku generowanego w czasie odkształcania próbki produktu. W przypadku pieczywa świeżego za emisję akustyczną odpowiedzialna jest jedynie chrupiąca skórka, w miarę postępowania procesu czerstwienia twardnieje mięksisz, staje się bardziej kruchy i przyczynia się do emisji dźwięków [14].

Celem pracy było określenie wpływu czasu przechowywania w warunkach zamrażalniczych chleba słonecznikowego z odroczonego wypieku na zmiany zachodzące w jego teksturze, ocenianej instrumentalnie (mechanicznie i akustycznie).

Material i metody badań

Materiał do badań stanowił chleb słonecznikowy półwypieczony, tzw. HB (*half-baked bread*): A – pochodzący bezpośrednio z produkcji oraz B – przechowywany przez pół roku w temp. $-30 \pm 0,5$ °C, zakupiony w wiodącej firmie na rynku pieczywa mrożonego w Polsce. Zamrożone oraz zapakowane w torby foliowe i pudła kartonowe bochenki chleba o masie 500 g przechowywano następnie w zamrażarce, w temp. -18 ± 1 °C. Po przechowywaniu chleba A przez 1 tydzień oraz 4, 7 i 16 tygodni,

a chleba B przez 1 tydzień oraz 4, 7, 16 i 21 tygodni rozmrażano pojedyncze bochenki w kuchence mikrofalowej Samsung, typ MW87W (Samsung, Korea Południowa) z wykorzystaniem programu szybkiego rozmrażania Autodefrost, odpowiedniego dla masy bochenka 500 g, dopiekano w piekarniku (Amica Wronki S.A., Polska), w temp. 210 °C przez 20 min i studzono w temp. 25 ± 1 °C.

Po 24 h od wypieku mierzono: aktywność wody (a_w) w skórce i miększu chleba w aparacie Rotronic AG (Bassersdorf, Szwajcaria), porowatość oraz teksturę miększu (mechanicznie i akustycznie).

Przy ocenie porowatości chleba wycinano z jego miększu sześciiany o boku 30 mm i ważono je na wadze analitycznej Radwag (Polska) z dokładnością $\pm 0,001$ g. Następnie usuwano z nich powietrze poprzez wygniatanie przez 1 min. Utworzone kulki wrzucano do cylindra miarowego wypełnionego olejem rzepakowym do objętości 100 cm³, po czym odczytywano objętość oleju. Na podstawie objętości początkowej próbki i po usunięciu powietrza obliczano porowatość chleba [5].

Mechaniczne parametry tekstury chleba (twardość, adhezyjność, gumistość, kohezyjność) wyznaczano na podstawie testu podwójnego ściskania (TPA). Bochenki krojono na kromki o grubości 20 mm, ze środka wykrawano cylindryczne próbki o średnicy 15 mm i wykonywano test TPA w teksturometrze TA-XT2i (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Zastosowano końcówkę typu P20 o średnicy 20 mm, przeznaczoną do badania pieczywa. Pomiar prowadzono z prędkością 0,8 mm·s⁻¹, na głębokość 10 mm i 5 mm.

Pomiar emisji akustycznej (EA), metodą kontaktową w zakresie częstotliwości 0,1 ÷ 16 kHz, wykonywano podczas testu penetracji końcówką P20, z prędkością 0,8 mm·s⁻¹, w maszynie wytrzymałościowej ZWICK (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm, Niemcy). Wyznaczano deskryptory emisji akustycznej: liczbę zdarzeń, amplitudę dźwięku i energię akustyczną [12]. Testy mechaniczne i akustyczne wykonano w 15 powtórzeniach.

Statystyczną ocenę uzyskanych wyników wykonano w programie StatSoft – Statistica v. 10. W celu sprawdzenia wpływu czasu przechowywania na aktywność wody, porowatość oraz parametry tekstury chleba przeprowadzono analizę wariancji (ANOVA). Podział na grupy jednorodne oraz istotność różnic między średnimi określano testem Duncana. Testowanie prowadzono przy poziomie istotności $p \leq 0,05$. Zastosowano również analizę głównych składowych z klasyfikacją (PCA, Principal Component Analysis), pozwalającą na ocenę podobieństw i różnic wszystkich badanych próbek chleba, poprzez usytuowanie ich na wykresie, którego współrzędnymi były składowe główne. Wyznaczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona.

Wyniki i dyskusja

W czasie przechowywania aktywność wody (a_w) w skórce chlebów słonecznikowych A i B nie uległa istotnym zmianom. Zaobserwowano natomiast, że aktywność wody w miększu chleba A po 4 tygodniach przechowywania zmniejszyła się, zaś dłuższy czas nie wpłynął statystycznie istotnie na a_w , w porównaniu z aktywnością wody w miększu po 4 tygodniach. Po 4 tygodniach przechowywania miększ chleba A osiągnął a_w taką, jaką miał miększ chleba B (przechowywanego wstępnie przez pół roku w $-30\text{ }^\circ\text{C}$) po 1 tygodniu przechowywania (tab. 1). Może to wskazywać, że największe zmiany a_w w miększu występują w pierwszych dniach po wypieku, następnie a_w ulega stabilizacji i nie zmienia się podczas długotrwałego przechowywania w warunkach zamrażalniczych ($-30\text{ }^\circ\text{C}$). Aguirre i wsp. [1] wykazali brak zmian a_w w miększu pieczywa przechowywanego w temp. $-18\text{ }^\circ\text{C}$ przez 23 dni.

Tabela 1. Średnie wartości aktywności wody i porowatości chleba słonecznikowego A i B w czasie przechowywania

Table 1. Mean values of water activity and porosity of A and B sunflower breads during storage

Czas przechowywania Storage period [tygodnie / weeks]	Aktywność wody w skórce Water activity of crust a_w	Aktywność wody w miększu Water activity of crumb a_w	Porowatość Porosity [%]
Chleb słonecznikowy A A Sunflower bread			
1	$0,817^a \pm 0,004$	$0,971^a \pm 0,001$	$50,0^a \pm 3,5$
4	$0,810^a \pm 0,003$	$0,962^b \pm 0,001$	$53,7^a \pm 2,5$
7	$0,792^a \pm 0,004$	$0,963^b \pm 0,002$	$53,3^a \pm 1,9$
16	$0,808^a \pm 0,005$	$0,965^b \pm 0,003$	$53,7^a \pm 2,0$
Chleb słonecznikowy B B Sunflower bread			
1	$0,871^a \pm 0,001$	$0,969^a \pm 0,001$	$57,4^a \pm 5,5$
4	$0,873^a \pm 0,002$	$0,964^a \pm 0,002$	$50,0^b \pm 4,8$
7	$0,848^a \pm 0,012$	$0,965^a \pm 0,001$	$31,5^c \pm 1,6$
16	$0,806^a \pm 0,040$	$0,962^a \pm 0,002$	$35,2^c \pm 3,3$
21	$0,824^a \pm 0,020$	$0,961^a \pm 0,001$	$37,0^c \pm 4,0$

Objaśnienia: / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie \pm odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviation. Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami (w kolumnach) nie różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$ / Mean values denoted by the same letters (in columns) do not differ statistically significantly at $p \leq 0,05$; $n = 15$.

Ważną składową jakości pieczywa jest porowatość, która w chlebie pszennym powinna wynosić co najmniej 65 %, zaś w chlebie mieszanym – 56 % [20]. W ciągu

całego okresu przechowywania porowatość chleba słonecznikowego A utrzymywała się na poziomie 53,0 %, natomiast w chlebie słonecznikowym B istotne ($p = 0,05$) zmniejszenie porowatości do 50,0 % wystąpiło już po 4 tygodniach przechowywania, a dalsze przechowywanie spowodowało kolejne istotne zmiany porowatości (tab. 1). Największe zmiany w mikrostrukturze chleba przypuszczalnie występują po długim okresie przechowywania, a przede wszystkim zmiany te mogą wynikać ze zmiany temperatury przechowywania chleba, jak w przypadku chleba B (pół roku przechowywany w temp. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a następnie w wyższej równej $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Eckardt i wsp. [7] wykazali, że przechowywanie chleba pszennego w temp.: -19 i $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ wpływało na jego mikrostrukturę. Przechowywanie chleba w temp. $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ spowodowało wystąpienie większych przestrzeni między ziarnami skrobi i glutenem, co autorzy tłumaczyli retrogradacją skrobi, odwodnieniem glutenu i migracją wody.

Przeprowadzony test podwójnego ściskania (TPA) pozwolił ocenić zmiany podstawowych parametrów tekstury chleba w czasie przechowywania. W obydwu badanych produktach wystąpiła zmiana twardości. Zarówno w chlebie słonecznikowym A, jak i B zaobserwowano największe i statystycznie istotne ($p = 0,05$) zmniejszenie twardości po 4 tygodniach przechowywania. Wydłużenie czasu przechowywania chleba A do 16 tygodni, a chleba B do 21 tygodni nie spowodowało istotnych zmian jego twardości w porównaniu z twardością chleba po 4 tygodniach (tab. 2). Barcenas i wsp. [2] dowiedli, że stopień twardości miękiszu pieczywa poddawanego dwustopniowemu wypiekowi determinowany był czasem przechowywania produktu w warunkach zamrażalniczych. W badaniach własnych po 4 tygodniach przechowywania chleba A zmniejszyła się również jego adhezyjność, a w chlebie B nie ulegała zmianom przez 21 tygodni (tab. 2). Po 7 tygodniach przechowywania stwierdzono także statystycznie istotny ($p = 0,05$) wzrost kohezji i gumistości chleba A i B. Należy sądzić, że największe zmiany tekstury ocenianej na podstawie analizy parametrów mechanicznych występują na początku procesu przechowywania chleba w warunkach zamrażalniczych, później twardość i adhezyjność stabilizują się. Prawdopodobnie zmiany te mogą być wywołane zmianą a_w miękiszu, która w chlebie A wystąpiła również po 4 tygodniach.

W analizie statystycznej wartości deskryptorów emisji akustycznej (EA) wykazano, że w chlebie A statystycznie istotne ($p < 0,05$) zmiany energii akustycznej i amplitudy dźwięku wystąpiły także po 4 tygodniach przechowywania, a liczba zdarzeń EA statystycznie istotnie ($p < 0,05$) wzrosła po 7 tygodniach przechowywania. W chlebie słonecznikowym B istotne ($p < 0,05$) zwiększenie wartości deskryptorów akustycznych (energii akustycznej, amplitudy i liczby zdarzeń EA) stwierdzono dopiero po 16 tygodniach przechowywania (tab. 2).

Tabela 2. Średnie wartości parametrów tekstury chleba słonecznikowego A i B w czasie przechowywania

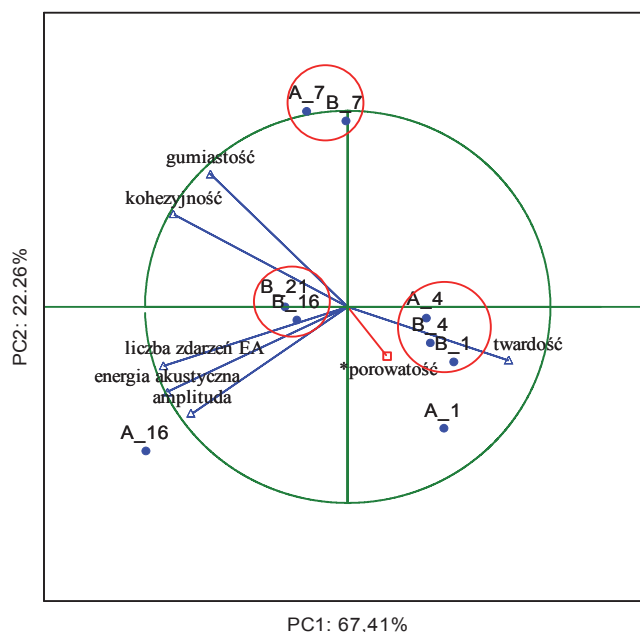
Table 2. Mean values of texture parameters of A and B sunflower breads during storage

Czas przechowywania Storage period [tygodnie / weeks]	Twardość Hardness [N]	Kohezyjność Cohesiveness	Gumiastość Gumminess [N]	Adhezyjność Adhesiveness [J]	Liczba zdarzeń EA Number of acoustic events	Energia akustyczna Acoustic energy [10 ³ J.u. / 10 ³ a.u.]	Amplituda Amplitude [mV]
Chleb słonecznikowy A A Sunflower bread							
1	23,2 ^a ± 3,1	0,010 ^a ± 0,003	0,140 ^a ± 0,090	0,153 ^a ± 0,045	7 ^a ± 1	1,6 ^a ± 0,2	67,6 ^a ± 1,2
4	14,7 ^b ± 4,1	0,013 ^a ± 0,004	0,183 ^a ± 0,070	0,112 ^a ± 0,009	9 ^a ± 3	0,5 ^b ± 0,2	25,3 ^b ± 1,9
7	11,6 ^b ± 3,9	0,075 ^b ± 0,010	0,858 ^b ± 0,213	0,073 ^{ab} ± 0,030	74 ^b ± 13	6,6 ^c ± 2,6	36,2 ^c ± 2,6
16	8,4 ^b ± 4,0	0,072 ^b ± 0,008	0,608 ^c ± 0,103	0,021 ^b ± 0,048	340 ^c ± 15	106,2 ^d ± 1,9	141,3 ^d ± 7,4
Chleb słonecznikowy B B Sunflower bread							
1	19,1 ^a ± 2,0	0,006 ^a ± 0,003	0,113 ^a ± 0,049	0,663 ^a ± 0,019	6 ^a ± 5	0,4 ^a ± 0,3	25,2 ^a ± 3,5
4	12,8 ^b ± 1,9	0,005 ^a ± 0,002	0,058 ^a ± 0,024	0,623 ^a ± 0,009	16 ^a ± 2	0,8 ^a ± 0,2	22,9 ^a ± 2,4
7	12,7 ^b ± 3,1	0,061 ^b ± 0,009	0,787 ^b ± 0,283	0,553 ^a ± 0,026	13,0 ^a ± 5	1,0 ^a ± 0,2	28,0 ^a ± 4,7
16	10,0 ^b ± 2,8	0,042 ^c ± 0,012	0,428 ^c ± 0,198	0,506 ^a ± 0,059	222 ^b ± 16	33,5 ^b ± 1,5	54,0 ^b ± 3,8
21	10,1 ^b ± 1,7	0,055 ^b ± 0,008	0,430 ^c ± 0,188	0,544 ^a ± 0,024	233 ^b ± 11	33,8 ^b ± 2,0	55,0 ^b ± 3,3

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Utrata wilgoci i retrogradacja skrobi to dwa podstawowe mechanizmy odpowiedzialne za zmiany tekstury miększu chleba, ponieważ skrobia jest jego głównym składnikiem [19]. Długie przechowywanie pieczywa w warunkach zamrażalniczych przyczynia się do zwiększenia stopnia retrogradacji skrobi. Zmiany tekstury chleba podczas jego zamrażalniczego przechowywania tłumaczy się redystrybucją wody i rekrytalizacją lodu w cieście, wywołujących zmiany w strukturze cząsteczek skrobi spowodowane żelatynizacją i retrogradacją [15, 16]. Jak podaje Cauvain [4], mrożenie ciasta niekorzystnie wpływa na teksturę i szybkość czerstwienia pieczywa. Autor ten obserwował wzrost twardości oraz utratę smaku i zapachu. Dla zachowania odpowiedniej tekstury pieczywa bardzo istotna jest temperatura zamrażalniczego przechowywania [10]. Ciasto przechowywane w temp. -10 i -20 °C jest bardziej miękkie i ma większą tendencję do czerstwienia niż ciasto przetrzymywane w temp. -35 °C.

W analizie składowych głównych (PCA) parametrów mechanicznych i deskryptorów akustycznych wykazano, że teksturę badanego chleba można opisać za pomocą dwóch składowych. Składowa pierwsza (PC1), objaśniająca 67,4 % wariacji, była tworzona przez twardość, kohezyjność, liczbę zdarzeń EA i energię akustyczną, natomiast składowa druga (PC2), wyjaśniająca 22,3 % wariacji, była tworzona przez gumiaistość i amplitudę dźwięku (rys. 1). Strata informacji przy redukcji parametrów do dwóch składowych wynosiła 10,3 %. Analiza PCA z uwzględnieniem dwóch składowych pozwoliła potwierdzić, że na teksturę chleba istotnie wpływa czas przechowywania w warunkach zamrażalniczych, a największe zmiany tekstury występują w początkowym okresie.



Objaśnienia: / Explanatory notes:

gumiaistość / gumminess; kohezyjność / cohesiveness; twardość / hardness; amplituda / amplitude; energia akustyczna / acoustic energy; liczba zdarzeń EA / number of acoustic events; porowatość / porosity; 1, 4, 7, 16, 21 – tygodnie przechowywania / weeks of storage

Rys. 1. Diagram PCA: parametrów tekstury oraz podobieństw i różnic chleba słonecznikowego A i B.

Fig. 1. PCA diagram of texture parameters of and of differences and similarities between A and B sunflower breads.

Usytuowanie w diagramie PCA próbek chleba (B_1, B_4 i A_4) obok siebie świadczy o podobieństwie ich właściwości teksturalnych ocenianych na podstawie analizy parametrów mechanicznych i akustycznych (rys. 1). Drugą grupę o podobnych

właściwościach teksturalnych tworzyły próbki chleba A_7 i B_7, zaś trzecią B_16 i B_21. Dystans pomiędzy próbkami chleba: A_1, A_4, A_7 i A_16 świadczy o wielkości i charakterze różnic ich tekstury. Tekstura chleba słonecznikowego A po 1 tygodniu przechowywania, jak i po kolejnych tygodniach, była różna pod względem parametrów mechanicznych i akustycznych. Można stwierdzić, że tekstura chleba słonecznikowego A, pochodzącego bezpośrednio z produkcji, zmieniała się w ciągu całego okresu przechowywania (16 tygodni). Natomiast jeśli chleb słonecznikowy był przechowywany przez 6 miesięcy w stałej, kontrolowanej temperaturze (-30 °C), tak jak chleb B, miał on teksturę podobną do chleba A pochodzącego bezpośrednio z produkcji oraz przechowywanego przez 4 tygodnie w temp. -18 °C. Po 7 tygodniach chleb B charakteryzował się teksturą również podobną do chleba A (rys. 1). Jest to ważna informacja zarówno dla producentów, jak i konsumentów pieczywa z odroczonego wypieku. Wyniki te wskazują na ważność doboru temperatury przechowywania chleba półwypieczonego. Proces czerstwienia chleba występuje w ciągu kilku dni, dlatego większość zmian podczas przechowywania tłumaczy się krystalizacją skrobi, a przede wszystkim jej składnika – amylopektyny [19]. Ronda i wsp. [17] badali wpływ długotrwałego przechowywania chleba na zakwasie w pełni wypieczonego (świeżego) oraz półwypieczonego i zmrożonego na zawartość wody, twardość, retrogradację skrobi oraz temperaturę przejścia szklistego (T_g). Dowiedli, że długo przechowywany chleb rozmrożony i dopieczony zawierał mniej amylopektyny niż w pełni wypieczony (świeży). Autorzy stwierdzili, że drugi etap pieczenia może stopić amylopektynę, krystalizującą podczas przechowywania zamrażalniczego i to jest przyczyną podobieństwa chleba półwypieczonego do świeżego. Ponadto potwierdzili potrzebę wyboru odpowiedniej temperatury przechowywania chleba zamrożonego (niższej od T_g). Przechowywanie chleba z odroczonego wypieku (półwypieczonego) w niskiej temperaturze pozwala zachować odpowiednią teksturę. W badaniach własnych w przypadku chleba słonecznikowego B zaobserwowano podobieństwo między próbkami przechowywanymi przez 1 tydzień i 4 tygodnie oraz przez 16 i 21 tygodni. Próbki chleba B przechowywane przez 1 tydzień i 4 tygodnie charakteryzowały się większą twardością i słabszą emisją akustyczną (mniejszą liczbą zdarzeń i energią akustyczną) niż próbki przechowywane przez 16 i 21 tygodni (rys. 1).

Stwierdzono silne ($p < 0,05$) ujemne współczynniki korelacji pomiędzy twardością i kohezyjnością oraz twardością i liczbą zdarzeń EA. Nie zaobserwowano natomiast istotnych współzależności między parametrami tekstury a porowatością chleba (tab. 3).

Tabela 3. Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy badanymi parametrami tekstury chleba słonecznikowego

Table 3. Coefficients of linear correlations among analyzed texture parameters of sunflower bread

Parametr Parameter	Twardość Hardness	Kohezyjność Cohesiveness	Gumiastość Gumminess	Liczba zdarzeń EA Number of acoustic events	Amplituda Amplitude
Kohezyjność Cohesiveness	-0,708*	1,000	-	-	-
Gumiastość Gumminess	-0,578	0,948*	1,000	-	-
Liczba zdarzeń Number of acoustic events	-0,708*	0,622	0,363	1,000	-
Amplituda Amplitude	-0,300	0,456	0,240	0,794*	1,000
Energia akustyczna Acoustic energy	-0,592	0,556	0,315	0,924*	0,926*
Porowatość Porosity	0,311	-0,241	-0,238	-0,214	0,075

Objaśnienia: / Explanatory notes:

* współczynniki korelacji liniowej statystycznie istotne pomiędzy parametrami ($p < 0,05$) / statistically significant coefficients of linear correlation among parameters ($p < 0.05$)

Błońska i wsp. [3] wykazali, że liczba zdarzeń EA silnie koreluje z twardością ciastek ocenianą w testach mechanicznych. Uważa się, że liczba zdarzeń jest parametrem akustycznym czułym na zmiany zawartości wody w suchych produktach zbożowych [12]. Również w przypadku oceny wpływu czasu przechowywania na teksturę chleba z odroczonego wypieku liczba zdarzeń EA może być parametrem akustycznym dobrze obrazującym zmiany tekstury.

Wnioski

1. Czas przechowywania półwypieczonego chleba słonecznikowego (wariantów A i B) w temperaturze $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, poddawanego następnie procesowi odroczonego wypieku, wpływał na jego teksturę. W czasie składowania stwierdzono tendencję do zmniejszania się twardości oraz zwiększenia kohezyjności miększu tego chleba. Statystycznie istotne zmiany parametrów emisji akustycznej, tj. amplitudy, energii akustycznej oraz liczby zdarzeń EA w chlebie słonecznikowym A wystąpiły po 4, a w chlebie B – po 16 tygodniach przechowywania.
2. Wielowymiarową analizą składowych głównych PCA potwierdzono, że tekstura miększu chleba słonecznikowego A ulegała zmianom w ciągu 16 tygodni przechowywania, natomiast miększ chleba B po 1 tygodniu i po 4 tygodniach wyka-

zywał podobną teksturę, a istotne jej zmiany wystąpiły dopiero po 7 tygodniach przechowywania.

3. Przechowywanie półwypieczonego chleba słonecznikowego przez 6 miesięcy w stałej, kontrolowanej temperaturze (-30 °C) spowodowało, że po rozmrożeniu i dopieczeniu miękisz tego chleba wykazywał teksturę podobną do chleba pochodzącego bezpośrednio z produkcji i przechowywanego przez 4 tygodnie w temperaturze -18 °C.

Literatura

- [1] Aguirre J.F., Osella C.A., Carrara C.R., Sanchez H.D., Del Pilar Buera M.: Effect of storage temperature on starch retrogradation of bread staling. *Starch/Starke*, 2011, **63**, 587-593.
- [2] Barcenás M.E., Haros M., Benedito C., Rosell C.M.: Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Res. Int.*, 2003, **36 (8)**, 863-869.
- [3] Błońska A., Marzec A., Błaszczuk A.: Instrumental evaluation of acoustic and mechanical texture properties of short-dough biscuits with different content of fat and inulin. *J. Texture Stud.*, 2014, **45 (3)**, 226-234.
- [4] Cauvain S.P.: Improving the texture of bread. In: *Texture in Food. Vol. 2: Solid Foods*. Ed. D. Kilcast. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 2004, pp. 432-450.
- [5] Ceglińska A.: Ocena jakości pieczywa. W: *Wybrane zagadnienia z technologii żywności*. Red. M. Mitek, M. Słowiński. Wyd. SGGW, Warszawa 2006, ss. 255-268.
- [6] Collar C.: Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling. *Eur. Food Res. Technol.*, 2003, **216**, 505-513.
- [7] Eckardt J., Öhgren C., Alp A., Ekman S., Åström A., Chen G., Swenson J., Johansson D., Langton M.: Long-term frozen storage of wheat bread and dough – Effect of time, temperature and fibre on sensory quality, microstructure and state of water. *J. Cereal Sci.*, 2013, **57 (1)**, 125-133.
- [8] Fik M.: Czerstwienie pieczywa i sposoby przedłużania jego świeżości. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 2004, **39 (2)**, 5-19.
- [9] Gray J.A., Bemiller J.N.: Bread staling: Molecular basis and control. *Compreh. Rev. Food Sci. Food Safety*, 2003, **2 (1)**, 1-21.
- [10] Jinhee Y., Kerr W.L.: Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors. *J. Food Eng.*, 2009, **93**, 495-501.
- [11] Kondratowicz J., Chwastowska I.: Wpływ różnych technologii chłodniczych na jakość wyrobów piekarniczych. *Chłodnictwo*, 2006, **XLI (8)**, 36-41.
- [12] Lewicki P.P., Marzec A., Ranachowski Z.: Acoustoic properties of foods. Chapter 24. In: *Food Properties Handbook. II ed.* Ed. M. Shafiur Rahman. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton 2009, pp. 811-841.
- [13] Matuda T.G., Parra D.F., Lugao A.B., Tadini C.C.: Influence of vegetable shortening and emulsifiers on the unfrozen water content and textural properties of frozen French bread dough. *Lebens. Wiss. Technol.*, 2005, **38**, 275-280.
- [14] Ranachowski Z., Lewicki P.P., Marzec A.: Investigation of staling of bread using mechanical and acoustic methods. In: *Proceedings of 51st Open Seminar of Acoustics*. Polish Acoustic Society. Gdańsk, Poland, 2004, pp. 429-433.
- [15] Ribotta P.D., Leon A.E., Anon M.C.: Effects of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, **49**, 913-918.

- [16] Ribotta P.D., Leon A.E., Anon M.C.: Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter. *Food Res. Int.*, 2003, **36**, 357-363.
- [17] Ronda F., Caballero P.A., Quilez J., Roos Y.H.: Staling of frozen partly and fully baked breads. Study of the combined effect of amylopectin recrystallization and water content on bread firmness. *J. Cereal Sci.*, 2011, **53**, 97-103.
- [18] Schiraldi A., Fessas D.: Mechanism of staling: An overview. In: *Bread Staling*. Eds. P. Chinachoti, Y. Vodovotz. CRC Press, Boca Raton 2011, pp. 1-17.
- [19] Zobel H., Kulp K.: The staling mechanism. In: *Baked Good Freshness*. Eds. E. Hebeda, H. Zobel. Marcel Dekker, New York 1996, pp. 1-64.
- [20] Waszkiewicz-Robak B.: Charakterystyka składników recepturowych pieczywa. W: *Towaroznawstwo żywności przetworzonej*. Red. F. Świdorski. Wyd. SGGW, Warszawa 2003, ss. 361-385.

EFFECT OF STORAGE UNDER FREEZING CONDITIONS ON TEXTURE OF SUNFLOWER BREAD BAKED USING BAKE-OFF TECHNOLOGY

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of storing sunflower bread, baked using a bake-off technology, under the freezing conditions on the changes occurring in its texture. The research study comprised partially baked sunflower bread: A that was obtained immediately after baking and B that was stored for 6 months at a controlled temperature of -30 °C. The A and B semi-finished products were stored at -18 °C. After a period of 1, 4, 7, and 16 weeks, the A and B breads were baked, and the B bread was baked also after a period of 21 weeks. Then, the following was analyzed: water activity, porosity, and texture of breads crumb. The texture profile analysis (TPA) was carried out in a TA-XT2i Texture Analyzer. The acoustic emission was measured using a contact method during the compression test of the bread crumb in a ZWICK testing machine. The texture of the A and B sunflower bread baked using a bake-off technology changed significantly during the storing at -18 °C. It was found that during storage the hardness of the A and B sunflower bread crumbs tended to decrease and their cohesiveness to increase. As for the A sunflower bread, significant changes occurred in the parameters of acoustic emission (amplitude, acoustic energy, and number of acoustic emission events) after 4 weeks of storing it; as for the B sunflower bread, those changes occurred after 16 weeks of storage. The PCA analysis showed that the texture of the A bread crumb was constantly changing over a storage period of 16 weeks, while the B bread crumb had a similar texture after the 1st and 4th week of storage; the significant changes in the B bread crumb occurred only after the 7th week of storage. Storing the sunflower bread for six months under the controlled conditions caused the texture of the bread crumb, after defrosting and baking, to become similar to the texture of the bread obtained directly from the production and stored for 4 weeks at -18 °C.

Key words: partially baked sunflower bread, storage, texture, mechanical properties, acoustic emission 