

WPŁYW SZYBKOŚCI I METODY NISZCZENIA WYBRANYCH CIASTEK NA JAKOŚĆ EMITOWANEGO DŹWIĘKU

Agata Marzec, Piotr P. Lewicki, Ewa Jakubczyk

*Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

Streszczenie. W pracy analizowano wpływ szybkości i metody niszczenia herbatników i krakersów na jakość emitowanego dźwięku, w celu opracowania odpowiedniej metodyki pomiaru emisji akustycznej (EA) do badania tekstury tego typu produktów. Ciastka były łamane i ściskane w maszynie wytrzymałościowej ZWICK 1445, testy wykonano z prędkością 20 i 50 mm·min⁻¹. Pomiar emisji akustycznej przeprowadzono za pomocą akcelerometru piezoelektrycznego. Sygnały emisji akustycznej wzmacniano (40 dB) i analizowano w zakresie częstotliwości od 1 do 15 kHz. Metoda i szybkość niszczenia wpływają na ilość emitowanego dźwięku. Ściskanie powoduje większą energię i liczbę zdarzeń emisji akustycznej niż łamanie. Rodzaj testu mechanicznego powoduje różnice w jakości emitowanego dźwięku. Łamanie wywołuje emisje akustyczną o niskich częstotliwościach od 1 do 6 kHz i wysokich przy 13 kHz w obu rodzajach ciastek. Ściskanie powoduje propagację i generację dźwięków o niskich częstotliwościach od 1 do 7 kHz i w wysokich od 12 do 14 kHz.-Wszystkie analizowane w niniejszej pracy deskryptory emisji akustycznej charakteryzują się wysoką zmiennością nawet do 60% przy zastosowaniu testu łamania i do około 23% przy ściskaniu. Do badania tekstury ciastek metodą emisji akustycznej korzystne jest zastosowanie testu ściskania i prędkości niszczenia 20 mm·min⁻¹.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, herbatniki, krakersy, ściskanie, łamanie

Wstęp

Analiza dźwięku generowanego w procesie niszczenia produktów spożywczych pozwala na określenie ich cech jakościowych takich jak kruchość i chrupkość. Cechy te często należą do najważniejszych czynników decydujących o wyborze żywności przez konsumenta. Wyniki prac Seymour i Hamann [1988] sugerują, że kruchość i chrupkość produktów o niskiej zawartości wody była w najwyższym stopniu związana z wrażeniami akustycznymi, w wyższym stopniu niż zastosowany test mechaniczny.

Metoda emisji akustycznej może być zastosowana do wykrywania stałych zmian mikrostruktury w materiale; emitowany dźwięk daje informacje o procesie pęknięcia, np. pozwala wykryć początek procesu niszczenia, który często występuje dużo wcześniej niż osiągnięte maksymalne naprężenie. Wyznaczona energia dźwięku i jego głośność informują o wielkości zniszczenia.

Badania emisji akustycznej przeprowadzono na różnych produktach zbożowych (pieczywie chrupkim, płatkach kukurydzianych, krakersach, herbatnikach) [Marzec i in. 2005]. Emisja akustyczna w suchych produktach żywnościowych pojawia się w wyniku nagłego wyzwolenia zakumulowanej w nich energii sprężystej zwłaszcza, kiedy zachodzi powstawanie i wzrost pęknięć oraz proces zniszczenia w wyniku przyłożenia zewnętrznych sił mechanicznych np. podczas gryzienia. Powstawaniu i wzrostowi pęknięć zazwyczaj towarzyszy silna emisja akustyczna, zwłaszcza w materiałach bardziej kruchych, czyli o mniejszej odkształcalności, a o wyższej wytrzymałości [Lewicki i in. 2004]. Poznanie mechanizmu odpowiedzialnego za powstawanie emisji akustycznej jest utrudnione przez zmiany, jakim podlega sygnał EA na drodze od źródła do akcelerometru.

Suche produkty spożywcze najczęściej mają budowę komórkową i na dźwięk emitowany przez nie istotny wpływ ma ich struktura. Komórki suchych produktów wypełnione są powietrzem a dźwięk jest emitowany przez trzaskające ściany komórkowe [Duizier 2001]. W miarę jak krucha struktura powietrznych komórek jest niszczona powstają serie dźwięków, a każdy dźwięk jest generowany przez rozerwanie ścian pojedynczej komórki. Jednocześnie niszczenie wielu komórek podczas gryzienia emituje charakterystyczny dźwięk. Amplituda chrupkiego dźwięku w dowolnym momencie jest iloczynem głośności dźwięku wytwarzanego przez pojedynczą komórkę oraz głośności złamań ścian komórek [Dacere-mont 1995].

Na wytwarzanie dźwięku przez produkt wpływają: ułożenie komórek, wady struktury, wiązania chemiczne, występujące zanieczyszczenia oraz powstałe pęknięcia [Alchakra i in. 1996]. Częstotliwość emitowanego dźwięku zależy od rodzaju, rozmiaru i kształtu niszczonego materiału [Wevers 1997], oraz zawsze jest związana z typem procesu pęknięcia i zachowaniem badanego materiału. Oczywiście jest, że wielkość próbki, rodzaj zastosowanego testu niszczenia (łamanie, ściskanie), wilgotność produktu istotnie wpływają na ilość zarejestrowanego dźwięku. W przypadku produktów w kształcie prostokąta o płaskiej powierzchni (pieczywo chrupkie, ciastka) można stosować testy trójpunktowego łamania pojedynczych próbek, ściskania lub penetracji tłokiem, kulką [Marzec i in. 2003]. Znacznie trudniejsze są badania produktów takich jak np. płatki zbożowe, chipsy o nierównomiernym kształcie i niewielkich wymiarach. Dźwięk generowany przez pojedyncze płatki charakteryzuje się bardzo słabą energią akustyczną [Lewicki i in. 2007].

W pracy analizowano wpływ szybkości i metody niszczenia herbatników i krakersów na jakość emitowanego dźwięku, w celu opracowania odpowiedniej metodyki pomiaru EA do badania tekstury tego typu produktów.

Metodyka

Do badań użyto herbatniki i krakersy o wymiarach 63x48x5 mm. Aktywność wody herbatników wynosiła 0.195, zaś krakersów 0.145.

Ciastka były łamane i ścisane w maszynie wytrzymałościowej ZWICK 1445, testy wykonano z prędkością 20 i 50 mm·min⁻¹. Testy trójpunktowego łamania przeprowadzono za pomocą klinowego elementu łamiącego, przy rozstawie podpór 40 mm. Do ściskania zastosowano tłok o średnicy 30 mm.

Pomiar emisji akustycznej przeprowadzono za pomocą akcelerometru piezoelektrycznego typu 4381 firmy Brüel&Kjær. Sygnały emisji akustycznej wzmacniano (40 dB) w liniowym wzmacniaczu niskoszumowym, a następnie zapisywano w pamięci komputera PC przy zastosowaniu dźwiękowej karty przetwarzania analogowo-cyfrowego firmy Adlink Technology Inc. typu 9112 z prędkością próbkowania 44.1 kHz. Karta ta umożliwiała zapis siły obciążającej badaną próbkę łącznie z zapisem emisji akustycznej. Sygnał emisji akustycznej analizowano w zakresie częstotliwości od 1 kHz do 15 kHz. Badania wykonano w 15 powtórzeniach, z czego wybierano 10. Analizowano 5 sekundowe próbki sygnału EA.

Szczegółowa analiza charakterystyk amplitudowo-czasowych pozwoliła na określenie liczby zdarzeń generowanych dźwięków i obliczenie energii akustycznej. Wyznaczono i analizowano charakterystyki widmowe zarejestrowanych sygnałów dźwiękowych emitowanych przez ciastka [Marzec i in. 2005].

Obliczono współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej dla obu rodzajów ciastek wg zależności:

$$P_{11-15} = \sum_{n \rightarrow 11 \text{ kHz}}^{n \rightarrow 15 \text{ kHz}} c_n, \quad P_{1-7} = \sum_{n \rightarrow 1 \text{ kHz}}^{n \rightarrow 7 \text{ kHz}} c_n, \quad \beta = \frac{P_{11-15}}{P_{1-7}} \quad (1)$$

gdzie:

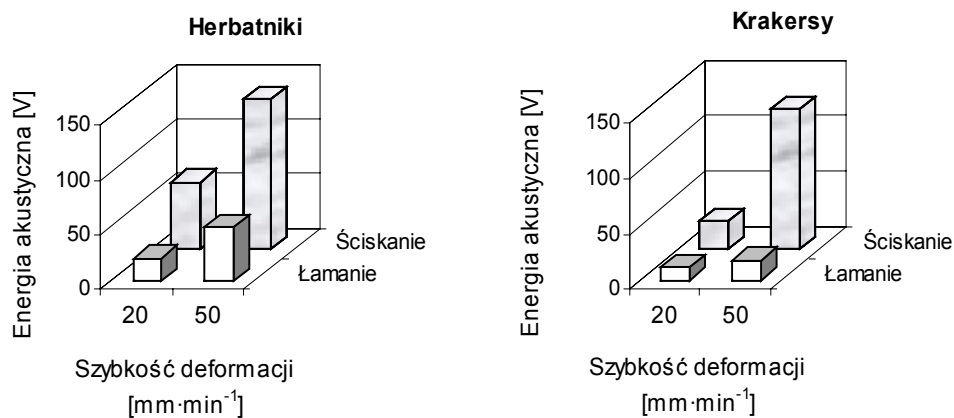
- P_{11-15} – gęstość widmową mocy sygnału w paśmie wysokich częstotliwości 11-15 kHz,
- P_{1-7} – gęstość widmową mocy sygnału w paśmie niskich częstotliwości 1-7 kHz.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono za pomocą programu Excel dla Windows XP.

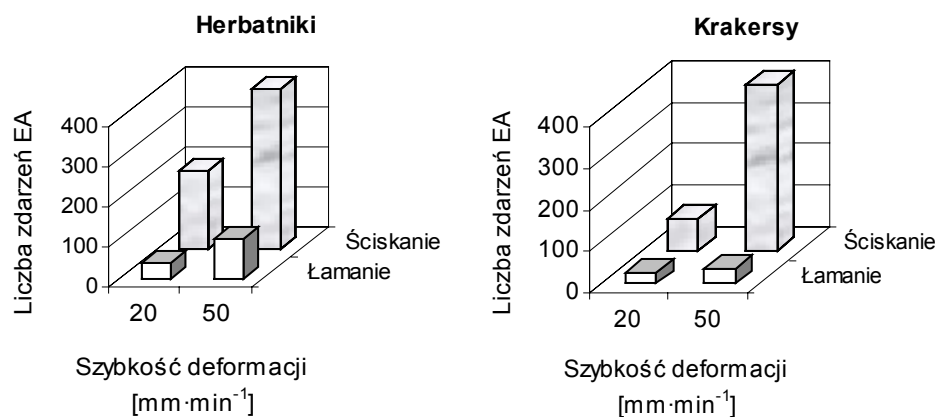
Wyniki

Zwiększenie szybkości niszczenia produktu zarówno podczas łamania jak i ściskania wpływa na wzrost energii emitowanego dźwięku (rys. 1) i liczbę zdarzeń emisji akustycznej (rys. 2) przez badane ciastka. Mniejsza prędkość deformacji daje dłuższy czas testu a zatem umożliwia rozproszenie energii w materiale, a powstające pojedyncze mikropekania w dłuższym czasie powodują słabszą emisję akustyczną. Szybkie uwolnienie zakumulowanej energii w produkcji przyczynia się do zwiększenia energii sygnału akustycznego.

Zaobserwowano, że metoda niszczenia istotnie wpływa na energię emitowanego dźwięku (rys. 1, rys. 2). Ściskanie wywołuje większą emisję akustyczną niż łamanie, niezależnie od szybkości deformacji produktu. Objawia się to zwiększoną energią sygnału i liczbą zdarzeń EA. Przyczyną tego jest różna powierzchnia kontaktu końcówki niszczącej z materiałem niszczonej oraz inna mechanika pęknięcia produktu w wyniku stosowanej metody. W łamaniu powierzchnia kontaktu jest niewielka, najpierw pękają pojedyncze komórki, które emitują dźwięki, w górnej części produktu występuje ściskanie, a w dolnej rozciąganie. W teście ściskania jednocześnie niszczonej jest duża powierzchnia, w tym przypadku około 7cm^2 , co daje wysoką energię dźwięku.



Rys. 1. Wpływ szybkości i metody niszczenia ciastek na energię emitowanego dźwięku
 Fig. 1. Influence of the method and velocity of deformation on the energy of acoustic emission of investigated cakes



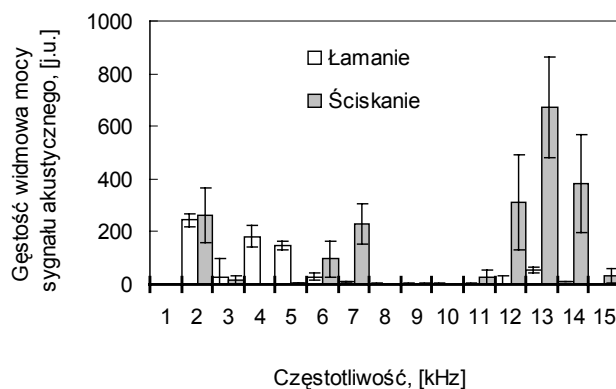
Rys. 2. Wpływ szybkości i metody niszczenia ciastek na liczbę zdarzeń EA
 Fig. 2. Influence of the method and velocity of deformation on the number of acoustic emission events of investigated cakes

Optymalne warunki pomiaru emisji akustycznej występują podczas próby ściskania produktu, ponieważ fale sprężyste propagują się od kruszonych części próbki do płaskiej płyty ścisniającej poprzez większą objętość próbki niż w przypadku przelamywania tej

próbki. Odchylenie standardowe od średnich wartości energii i liczby zdarzeń emisji akustycznej EA zmienia się w zależności od metody stosowanego testu mechanicznego, ale niezmienia się istotnie przy zmianie prędkości niszczenia produktu. Wielkość odchylenia standardowego jednoznaczna z rozrzutem wyników wokół średniej wartości jest znacznie większa dla energii i liczby zdarzeń obliczonych dla łamania i wynosi około 50% niż dla ściskania gdzie dochodzi do 23% przy obu stosowanych szybkościach deformacji ciastek.

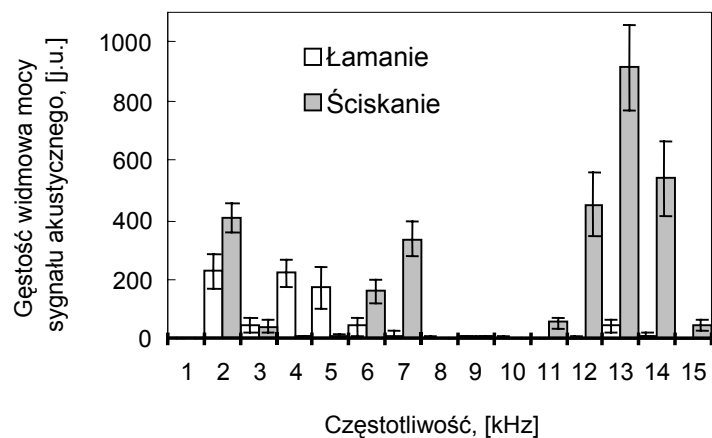
Stwierdzono również istotne różnice w częstotliwościach emitowanego dźwięku, zależnie od rodzaju testu mechanicznego (rys. 3, 4). Zastosowane metody niszczenia w obu rodzajach ciastek wywołują emisję akustyczną o niskich i wysokich częstotliwościach. Jednak przy łamaniu zaobserwowano większy udział dźwięków o niskiej częstotliwości, a ściskanie wywołało większą emisję dźwięków o wysokiej częstotliwości.

Zwiększenie szybkości z 20 do 50 mm·min⁻¹ nie powoduje istotnych różnic w emitowanych zakresach częstotliwości przez krakersy (rys. 3 i 4) a także przez herbatniki (rys. 5). Szybkość deformacji 20 i 50 mm·min⁻¹ podczas testu łamania wywołuje emisję akustyczną o niskich częstotliwościach od 1 do 6 kHz i wysokich przy 13 kHz w obu rodzajach ciastek. Natomiast test ściskania i powyższe prędkości powodują wytwarzanie dźwięków o niskich częstotliwościach od 1 do 7 kHz i w wysokich od 12 do 14 kHz w obu badanych produktach.



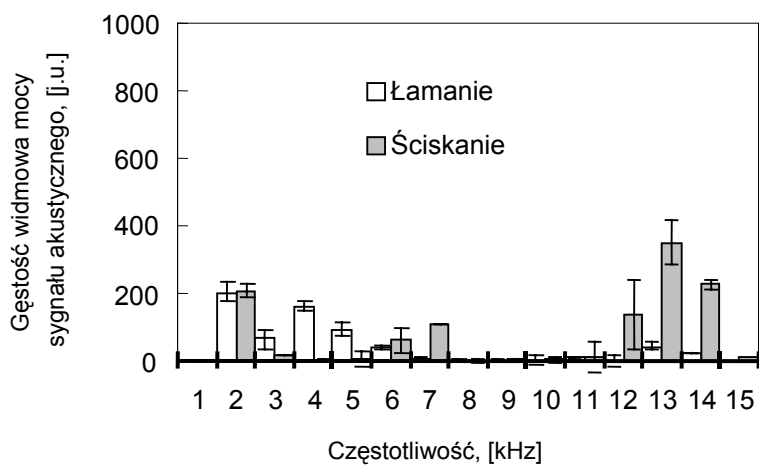
Rys. 3. Wpływ metody niszczenia z prędkością 20 mm·min⁻¹ na gęstość widmową mocy sygnału akustycznego krakersów

Fig. 3. Influence of deformation method at a rate of 20 mm·min⁻¹ on spectrum density of acoustic signal power of crackers



Rys. 4. Wpływ metody niszczenia z prędkością 50 mm·min⁻¹ na gęstość widmową mocy sygnału akustycznego krakersów

Fig. 4. Influence of deformation method at a rate of 50 mm·min⁻¹ on spectrum density of acoustic signal power of crackers



Rys. 5. Wpływ metody niszczenia z prędkością 20 mm·min⁻¹ na gęstość widmową mocy sygnału akustycznego herbatników

Fig. 5. Influence of deformation method at a rate of 20 mm·min⁻¹ on spectrum density of acoustic signal power of biscuits

W powyższych zakresach częstotliwości stwierdzono największą gęstość widmową mocy sygnału akustycznego i na tej podstawie obliczono współczynniki nachylenia charakterystyki widmowej.

Zwiększenie szybkości deformacji produktu powoduje spadek wartości współczynników nachylenia charakterystyki widmowej niezależnie od metody niszczenia i rodzaju ciastek (tab. 1). W wyniku łamania herbatników uzyskano około 50% zmniejszenie współczynników nachylenia charakterystyki widmowej przy zmianie prędkości łamania z 20 do 50 mm·min⁻¹. Natomiast w teście ściskania różnice te są mniejsze i wynoszą około 18% dla herbatników i około 10% dla krakersów. Oznacza to, że zwiększenie szybkości niszczenia produktu powoduje większą emisję dźwięków o wysokich częstotliwościach.

Tabela 1. Wartości współczynników nachylenia charakterystyki widmowej ciastek
Table 1. Partition power spectrum slope for cakes

Rodzaj testu mechanicznego	Herbatniki		Krakersy	
	Prędkość deformacji ciastek [mm·min ⁻¹]			
	20	50	20	50
Łamanie	0.169 ± 0.090(53%)	0.088 ± 0.053(60%)	0.294 ± 0.160(54%)	0.256 ± 0.103(10%)
Ściskanie	1.824 ± 0.382(20%)	1.489 ± 0.116(8%)	2.231 ± 0.247(10%)	1.989 ± 0.154(8%)

Wszystkie obliczone wartości współczynników nachylenia charakterystyki widmowej charakteryzują się bardzo dużą zmiennością, w teście łamania odchylenia standardowe wynoszą nawet do 60%. Mniejszy rozrzut wyników występuje podczas ściskania i przy prędkości 20 mm·min⁻¹ wynosi 20% dla herbatników i 10% dla krakersów, zaś przy prędkości 50 mm·min⁻¹ tylko 8% dla obu gatunków ciastek (tab. 1). Podobne zależności uzyskali Marzec i in. (2003) dla pieczywa chrupkiego ekstrudowanego łamanego i ściskanego.

Ze względu na rozrzut wyników wydaje się korzystniejsze stosowanie testu ściskania niż łamania. Natomiast prędkość niszczenia 20 mm·min⁻¹, ze względu na ilość otrzymanych danych, szczególnie w produktach o małej wysokości (niższa prędkość dłuższy czas pomiaru i więcej danych, zaś wyższa prędkość krótszy czas).

Wnioski

Metoda i szybkość niszczenia wpływają na ilość emitowanego dźwięku przez herbatniki i krakersy. Ściskanie powoduje większą energię i liczbę zdarzeń emisji akustycznej niż łamanie. Zwiększenie szybkości deformacji w obu metodach niszczenia powoduje większą emisję dźwięku.

Rodzaj testu mechanicznego powoduje różnice w jakości emitowanego dźwięku. Objawia się to różnymi zakresami emitowanych częstotliwości. Test łamania wywołuje emisję akustyczną o niskich częstotliwościach od 1 do 6 kHz i wysokich przy 13 kHz w obu rodzajach ciastek. Test ściskania powoduje propagację i generację dźwięków o niskich częstotliwościach od 1 do 7 kHz i w wysokich od 12 do 14 kHz.

Zwiększenie szybkości z 20 do 50 mm·min⁻¹ nie powoduje istotnych różnic w jakości emitowanego dźwięku, co się objawia jednakowymi częstotliwościami generowanego dźwięku przez ciastka.

Wartości współczynników nachylenia charakterystyki widmowej w teście ściskania są istotnie wyższe niż w teście łamania, co związane jest ilością dźwięku generowanego w wyniku zastosowanej metody.

Do badania tekstury ciastek metodą emisji akustycznej korzystne jest zastosowanie testu ściskania i prędkości niszczenia $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Bibliografia

- Alchakra W., Allaf K., Ville J., M.** 1997. Acoustical emission technique applied to the characterisation of brittle materials. *Applied Acoustics*. 52(1). s. 53-69.
- Dacremont C.** 1995. Spectral composition of eating sounds generated by crispy, crunchy and crackly foods. *Journal of Texture Studies*. 26. s. 27-43.
- Duizier L.** 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science & Technology*. 12. s. 17-24.
- Lewicki P.P., Marzec A., Ranachowski Z.** 2004. Acoustic properties of crunchy products. 3rd International Workshop on Water in Food. 29th – 30th March 2004. Lausanne. Switzerland. płyta CD.
- Lewicki P.P., Marzec A., Kuropatwa M.** 2007. Influence of water activity on texture of corn flakes. *Acta Agrophysica*, 1(9), s. 79-90.
- Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z., Dębowski T.** 2003. Cereal food texture evaluation with application of mechanical and acoustical method. *Nondestructive Testing of Materials and Structures*. wyd. IPPT PAN. 111-133.
- Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z.** 2005. Właściwości mechaniczne i akustyczne suchych produktów zbożowych. 2005, *Inżynieria Rolnicza*. Rok IX, 9(69). s. 207-214.
- Seymour S.K., Hamann D.D.** 1988. Crispness and crunchiness of selected low moisture foods. *J. Texture Studies* 19. s. 79-95.
- Wavers M.** 1997. Listening to the sound of materials acoustic emission for the analysis of material behaviour. *NDT & International*. 30(2). s. 99-106.

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2003-2006 (3 P06T 040 25)

INFLUENCE OF SPEED FRACTURE AND METHOD OF DEFORMATION OF SELECTED CAKES ON THE QUALITY OF EMITTED SOUND

Summary. The aim of this work was to analyze the effect of speed fracture and method of failure on the quality of sound emitted from fracturing biscuits and crackers. The study was intended to make a base for development of acoustic emission methods for objective texture evaluation of crispy cakes. The bending and compression measurements were made with universal testing machine ZWICK 1445 at a speed of 20, 50 mm·min⁻¹. The acoustics emission measurement were performed using a piezoelectric accelerometer. The acoustics signals were amplified and analysed in the frequency range of 1 to 15 kHz. The method and velocity of deformation exert great influence on the intensity of emitted sound. Compression generates more acoustic events and sounds with higher energy than those observed during bending test. The method of mechanical test results in differences in the quality of emitted sound. Bending test creates the acoustic emission in the frequency range of emitted sound between 1 and 6 kHz and at 13 kHz for both investigated materials. Compression test generates sound at two frequency ranges, *i.e.* 1-7 kHz and 12-14 kHz for biscuits and crackers. The differences between all analysed descriptors of acoustics emission are characterized by variation of up to 60% and 23% for bending and compression test appropriately. The acoustics emission method during compression test at deformation velocity of 20 mm·min⁻¹ can be successfully used to investigate texture of cakes

Key words: acoustic emission, biscuits, crackers, compression, breaking

Adres do korespondencji:

Marzec Agata; e-mail: agata_marzec@sggw.pl
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159C
02-776 Warszawa