

WPŁYW AKTYWNOŚCI WODY PŁATKÓW OWSIANYCH NA WYBRANE DESKRYPTORY EMISJI AKUSTYCZNEJ

Ewa Gondek, Ewa Jakubczyk, Marek Maniewski

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
ul Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_gondek@sggw.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu aktywności wody płatków owsianych na ich właściwości akustyczne. Produkt o aktywności wody z zakresu 0,025-0,649 ścisano w masie z prędkością 50 mm·min⁻¹. Emisję akustyczną towarzyszącą niszczeniu płatków rejestrowano i analizowano. Wyznaczono charakterystykę widmową zarejestrowanego dźwięku oraz obliczono takie deskryptory emisji akustycznej jak: liczba zdarzeń emisji akustycznej, średnia amplituda pojedynczego zdarzenia EA, całkowita energia emisji akustycznej, oraz współczynnik nachylenia charakterystyki mocy β . Wpływ aktywności wody na obliczone deskryptory EA miał charakter nieliniowy. W wąskim przedziale aktywności wody następowały istotne statystycznie zmiany wartości badanych współczynników dlatego zależność ta została opisana zmodyfikowanym równaniem Fermiego.

Słowa kluczowe: płatki owsiane, emisja akustyczna, aktywność wody

WSTĘP

Zainteresowanie konsumentów na całym świecie zdrowym żywieniem powoduje, że produkty na bazie owsa zyskują ostatnio dużą popularność. W związku z bardzo wysoką wartością fizjologiczno-żywnościową produkty te są zalecane przez dietetyków zarówno w żywieniu osób zdrowych jak i w dietoterapii wielu schorzeń (Gates i in 2008). Najbardziej popularny produkt owsiany, płatki są coraz częściej spożywane w atrakcyjnej formie gotowych mieszanek z suszonymi owocami i innymi dodatkami. Produktom takim stawia się bardzo wysokie wymagania. Płatki podczas przechowywania i przygotowania do konsumpcji powinny zachować swoją kruchą i chrupką teksturę lubianą przez konsumenta. Uważa się, że to tekstura obok smakowości jest dla konsumenta podstawowym wyróżnikiem jakości żywności, a w przypadku produktów, o niskim natężeniu cech sma-

kowych, tak jak np. przetwory owsiane, cechy teksturalne są właściwościami dominującymi (Duizer 2001). Wykazano ponadto, że w ogólnym postrzeganiu tekstury tego typu produktów kluczowe znaczenie ma dźwięk towarzyszący rozdrabnianiu produktu podczas gryzienia (Marzec i Gondek 2007). Utrata pożądanych przez konsumenta cech tekstury suchych produktów zbożowych wiąże się zazwyczaj ze wzrostem zawartości wody w materiale (Peleg 1998), dlatego w pracy podjęto próbę analizy zmian wybranych akustycznych wyróżników tekstury płatków owsianych w funkcji aktywności wody materiału.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły płatki owsiane „zwykłe” firmy Kupiec. Płatki doprowadzano do założonych aktywności wody, poprzez przechowywanie w higrostatkach w temperaturze $25 \pm 1,5^\circ\text{C}$. Jako czynniki higrostatyczne zastosowano bezwodny CaCl_2 , wodę i nasycone roztwory soli o aktywnościach podanych w tabeli 1.

Tabela 1. Rodzaj substancji higrostatycznej oraz aktywność wody i zawartość wody badanych płatków
Table 1. Water activity and water content of investigated products

Substancja higrostatyczna Hygrostatic substance	Czas przechowywania Time of storage	Aktywność wody środowiska Water activity environment	Aktywność wody produktu Water activity product	Wilgotność materiału Moisture content of material (%)
CaCl_2	3 miesiące – 3 months	0,000	$0,025 \pm 0,004$	$2,88 \pm 0,03$
LiCl	3 miesiące – 3 months	0,113	$0,105 \pm 0,006$	$5,16 \pm 0,01$
CH_3COOK	3 miesiące – 3 months	0,225	$0,225 \pm 0,003$	$6,69 \pm 0,04$
MgCl_2	3 miesiące – 3 months	0,329	$0,330 \pm 0,002$	$7,97 \pm 0,01$
K_2CO_3	3 miesiące – 3 months	0,438	$0,431 \pm 0,004$	$9,59 \pm 0,01$
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	3 miesiące – 3 months	0,529	$0,514 \pm 0,003$	$10,06 \pm 0,03$
H_2O	3 doby – 3 days	1,000	$0,649 \pm 0,003$	$11,33 \pm 0,05$
Produkt z opakowania Product from package	–	–	$0,455 \pm 0,002$	$9,77 \pm 0,15$

W materiale pobranym bezpośrednio z opakowania i przechowywanym zmierzono aktywność w urządzeniu Rotronic Hygroskop DT o dokładności $\pm 0,001$ oraz zawartość wody zgodnie z polską normą PN-91/A-74011

Płatki umieszczono w cylindrze o średnicy 30 mm i wysokości 60 mm i ściśkano w maszynie wytrzymałościowej za pomocą tłoka o średnicy 29 mm. Komora była w całości wypełniona badanym materiałem, przed badaniem materiał wazono na wadze Axis – typ AM 500 z dokładnością do 0,01 g. Głowica maszyny wytrzymałościowej Zwick 1445 firmy Zwick GmbH, do której przymocowany był tłok, przesuwała się z prędkością $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ materiał ściśkano do 50% początkowej wysokości cylindra, w tym czasie rejestrowano dźwięk towarzyszący niszczeniu płatków.

Aparatura pomiarowa składała się z akcelerometru piezoelektrycznego typu 4381V firmy Bruel&Kjaer, zamontowanego nad głowicą maszyny wytrzymałościowej. Sygnał emisji akustycznej wzmacniano w liniowym wzmacniaczu niskoszumowym. Emisję akustyczną podczas niszczenia płatków owsianych oraz przebieg zmienności siły w czasie rejestrowano za pomocą karty przetwarzania analogowo-cyfrowego firmy Adlink (typ 9112, częstość próbkowania 44,1 kHz). Rejestrowany sygnał EA zawierał się w paśmie częstotliwości od 0,1 do 15 kHz.

Wykonano po 15 powtórzeń dla każdej aktywności wody produktu. Obliczenia, analizę wykresów i wyników przeprowadzono przy użyciu programów: TableCurve 2D v3, oraz programów do analizy dźwięku (Ranachowski 2000): Widmo_i_wspnachyl., Calculate_01ms_44, Akustogr44_60s.

Obliczono:

Energię sygnału akustycznego, j.u.:

$$E = \sum_{m=1}^N V(m \cdot \tau_1) \quad (1)$$

gdzie: $V(\tau)$ – przebieg czasowy sygnału, $(m \tau_1)$ – zbiór próbek amplitud zarejestrowanych przez sensor, m – zmienna reprezentująca bieżący numer próbki, N – liczba próbek sygnału, τ_1 – odstęp czasu między pomiarami wynoszący 22 μs .

Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (β):

$$\beta = \frac{\sum_{n \rightarrow 14} c_n}{\sum_{n \rightarrow 7} c_n} \quad (2)$$

gdzie: c_n – gęstość widma obliczona na podstawie dyskretnej transformaty Fouriera.

Wpływ aktywności wody na obliczone parametry mechaniczne i akustyczne opisano zmodyfikowanym równaniem Fermiego (Harris i Peleg 1996):

$$Y(a_w) = \frac{Y_0 - Y_r}{1 + \exp \frac{a_w + a_{wc}}{b}} + Y_r \quad (3)$$

gdzie: a_w – aktywność wody, a_{wc} – krytyczna aktywność wody, Y_0 , Y_r , b , k – stałe

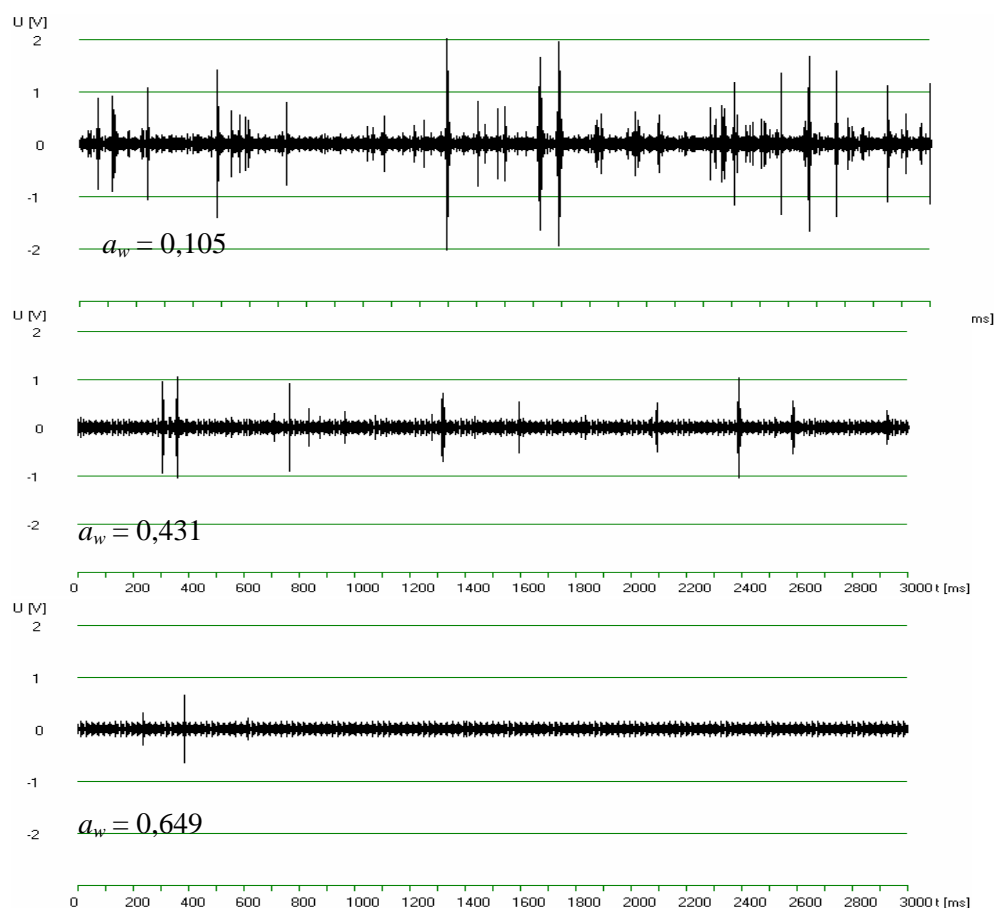
Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 5\%$ wykorzystano program statystyczny Statgraphics Plus 4.1, stosowano test Tukey`a.

WYNIKI I DYSKUSJA

Emisja akustyczna występuje podczas powstawania i wzrostu pęknięć, niszczenia struktury materiału, i nagłego wyzwolenia energii sprężystej np. na skutek przyłożenia siły (Malecki i Opilski 1994). Taka sytuacja ma miejsce podczas gryzienia, fala dźwiękowa trafia do ucha, gdzie jest dzielona na składniki o określonych częstotliwościach, złożona analiza prowadzi do określenia subiektywnych wrażeń dźwiękowych takich jak, głośność czy też ton dźwięku (Duizer 2001). W badaniach emisji akustycznej suchych produktów spożywczych wyznaczono takie deskryptory dźwięku jak: liczba zdarzeń emisji akustycznej, energia pojedynczego zdarzenia, jego amplituda, czas trwania sygnału, całkowita energia EA i współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (Gondek i in. 2006, Luyten i in. 2006, Marzec i in. 2005).

Wykazano, że poza strukturą wewnętrzną materiału i jego składem chemicznym na EA wpływa również aktywność wody materiału (Marzec 2005). Zakres badanych aktywności wody płatków został dobrany na podstawie danych literaturowych.

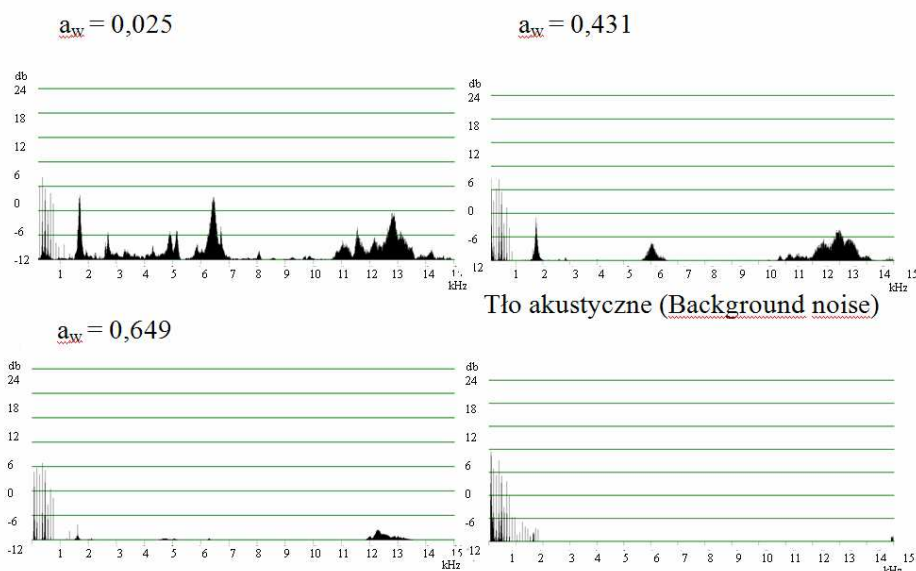
Istnieje wiele prac, w których analizowano wywołaną chłonięciem wody utratę kruchości materiałów pochodzenia zbożowego za pomocą metod sensorycznych. Jednak prób oceny jakości dźwięku za pomocą instrumentalnych, obiektywnych metod jest stosunkowo niewiele (Castro-Prada i in. 2007, Luyten i Van Vliet 2006) W nielicznych pracach określano wpływ zawartości, bądź aktywności wody na akustyczne wyróżniki tekstury suchych produktów zbożowych. Ekstrudowane pieczywo pszenne traciło swoje korzystne właściwości teksturalne przy $a_w = 0,53$, żytnie przy $a_w = 0,59$ (Marzec i Lewicki, 2006), wafle przy $a_w = 0,59$ (Martinez-Navarrete i in. 2004), krakersy przy $a_w = 0,50$ (Marzec i in. 2006b), natomiast tekstura płatków z otrąb pszennych zmieniała się przy a_w około 0,60 (Gondek i in. 2006). Aktywność wody i wilgotność płatków przygotowanych do badań i pobranych z opakowania podano w tabeli 1.



Rys. 1. Charakterystyki amplitudowo – czasowe płatków owsianych (oś pozioma – czas (ms), oś pionowa – amplituda (V))

Fig. 1. Amplitude-time relationship for oat flakes (horizontal axis- time (ms), vertical axis – amplitude (V))

Na rysunku 1 przedstawiono wybrane charakterystyki amplitudowo-czasowe zarejestrowanego dźwięku. Stwierdzono, że ze wzrostem aktywności wody produktu stopniowo zmniejsza się amplituda dźwięku a zdarzenia EA występują coraz rzadziej. Przy $a_w = 0,105$ amplituda waha się w przedziale ± 2 V, przy 0,43 1 zmniejsza się do ± 1 V, a przy $a_w = 0,649$ na wykresie widoczne są pojedyncze zdarzenia EA o amplitudzie poniżej $1\pm V$. Podobnych obserwacji dokonali Tesh i in. (1996), którzy badali charakterystyki amplitudowo– czasowe dźwięków towarzyszących niszczeniu grzanek serowych, amplituda oraz ilość zdarzeń EA, spadały gdy aktywność wody rosła od 0,11 do 0,57 oraz Gondek i in. (2006) analizując emisję akustyczną ekstrudowanych płatków śniadaniowych.



Rys. 2. Widma akustyczne płatków owsianych i maszyny wytrzymałościowej (oś pozioma – częstotliwość dźwięku [kHz], oś pionowa – natężenie dźwięku [dB])

Fig. 2. Acoustic spectral characteristic of oat flakes and testing machine (horizontal axis- frequency [kHz], vertical axis- acoustic energy [dB])

Rysunek 2 przedstawia przykładowe widma akustyczne płatków owsianych oraz widmo EA maszyny wytrzymałościowej. Na rysunkach widoczne są charakterystyczne dla produktu pasma, w których występuje wysoka energia dźwięku. W niskich częstotliwościach jest to zakres 2-7 z maksimum w przedziale 6-7kHz a w wysokich częstotliwościach 11-14 kHz. Dla pieczywa chrupkiego „Wasa” dolne pasmo przypadło na zakres 2-8 kHz zaś górne 13-14 kHz (Marzec i in. 2005a), dla krakersów na 2-3 kHz i 14 kHz. Herbatniki z tłuszczem w dolnym paśmie były najgłośniejsze w zakresie 2-4 kHz, natomiast w górnym w zakresie 13-14 kHz (Marzec i in. 2005b), a dla płatków kukurydzianych i pszennych sygnał emisji akustycznej był najbardziej intensywny w pasmach 7-9 i 14-15 kHz (Gondek i in. 2006).

Wraz ze wzrostem aktywności płatków natężenie dźwięku malało, przy czym w pierwszej kolejności zanikały na charakterystyce widmowej dźwięki o niskich częstotliwościach, dźwięk o wysokiej częstotliwości pojawiał się nawet w płatkach o najwyższej badanej aktywności wody. Przy analizie widm akustycznych nie brano pod uwagę zakresu częstotliwości 0-1 kHz, w którym natężenie dźwięku było dosyć wysokie i nie zmieniało się ze wzrostem aktywności wody. W paśmie tym zawierało się tzw. tło akustyczne, w którym występują zakłócenia związane z pracą urządzenia (rys.2).

Obliczono całkowitą energię emisji akustycznej generowanej podczas ściskania materiału i przedstawiono w funkcji aktywności wody (rys.3). Stwierdzono, że do aktywności wody około 0,225 całkowita energia dźwięku nie zmienia się (całkowita energia akustyczna wahała się w granicach 2200 [j.u.]), a powyżej aktywności wody 0,330 znacząco spada. Spadek intensywności sygnału akustycznego wynika ze zmiany rozkładu naprężeń w materiale pod wpływem wody jeśli materiał badany jest w masie dodatkowo możliwa jest reorientacja i upakowywanie cząstek w łożu. Ranachowski i in. (2005) badając płatki kukurydziane i pszenne także stwierdzili, że wzrost zawartości wody wpływa na obniżenie natężenia sygnału emisji akustycznej.

Ze wzrostem aktywności wody płatków spada udział dźwięków o częstotliwościach niskich można zatem stwierdzić, woda wywołuje w materiale zmiany, które sprzyjają generacji i propagacji dźwięków o wysokich częstotliwościach i jednocześnie tłumieniu dźwięków o częstotliwościach niskich. Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej który jest stosunkiem średniej gęstości widmowej w skrajnych zakresach częstotliwości przy aktywności wody z zakresu 0,025-0,431 był na zbliżonym poziomie, a następnie gwałtownie wzrastał. Podobne wyniki uzyskali Marzec i in. (2005) dla pieczywa chrupkiego i Gondek i in. (2006) dla płatków kukurydzianych. W przypadku krakersów współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej rośnie do osiągnięcia $a_w = 0,30$, a następnie gwałtownie maleje (Marzec i in. 2005), a w przypadku ekstrudowanych płatków z otrąb pszennych maleje (Ranachowski i in. 2005).

Wpływ aktywności wody na liczbę zdarzeń emisji akustycznej przedstawiono na rysunku 4. Średnia liczba zdarzeń EA w płatkach owsianych o a_w z zakresu 0,025-0,225 wynosiła ok. 170 s^{-1} i nie różniła się istotnie statystycznie. Przy $a_w = 0,330$ liczba zdarzeń zmalała prawie dwukrotnie w stosunku do wartości początkowej, przy $a_w = 0,431$ ponad pięciokrotnie, a przy $a_w = 0,649$ liczba zdarzeń EA nie przekraczała 5 s^{-1} . Wzrost zawartości wody w materiale umożliwia relaksację naprężeń, w wyniku czego spada prawdopodobieństwo powstawania kruchych pęknięć pod wpływem siły, które są źródłem zdarzeń EA.

Spośród analizowanych w pracy deskryptorów EA średnia energia pojedynczego zdarzenia (średnio ok. 350 j.u.) nie zmieniała się, a pozostałe wyróżniki dźwięku zależały od aktywności wody płatków. W każdym analizowanym przypadku stwierdzono występowanie wąskiego przedziału aktywności wody, w którym obserwowano istotne zmiany analizowanego wyróżnika. W takich przypadkach do opisu zależności badanego parametru od aktywności wody stosowane jest równanie Fermiego w postaci zmodyfikowanej przez Pelega (Harris i Peleg 1996).

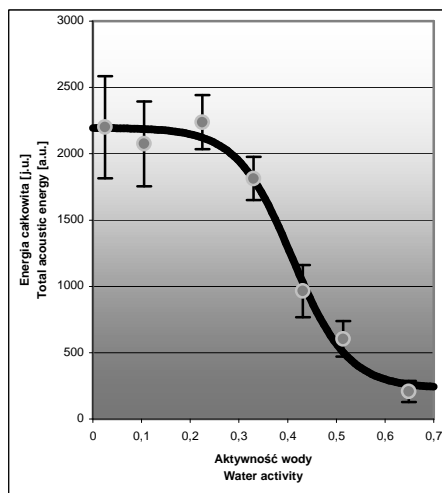
W suchych produktach pochodzenia zbożowego ta gwałtowna zmiana analizowanych parametrów wiązana jest przez badaczy z fazowym przejściem szklistym, któremu towarzyszy utrata pożądanego kruchej tekstury produktu. Zastosowanie

wanie równania Fermiego pozwala na wyznaczenie tzw. krytycznej aktywności wody, na którą przypada połowa zmian badanego wyróżnika. Y_0 jest wartością badanego parametru w stanie suchym, Y_r po przemianie zaś parametr b opisuje nachylenie krzywej w strefie zmian. W tabeli 2 przedstawiono parametry tego równania, a na rysunku 2 badane deskryptory dźwięku w funkcji aktywności wody opisane tym równaniem.

Tabela 2. Parametry równania Fermiego zastosowanego do opisu zależności pomiędzy aktywnością wody, a badanymi deskryptorami EA

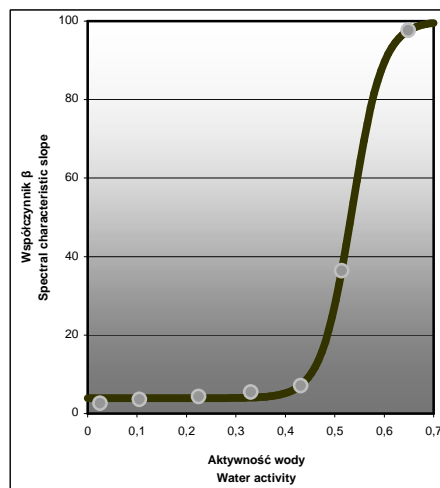
Table 2. Parameters of Fermi's equation used to describe relationship between water activity and investigated EA parameters

Analizowany parametr Investigated parameter	r^2	Y_0	Y_r	a_{wc}	b
Całkowita energia dźwięku (j.u.) Total acoustic energy	0,990	2196	231,9	0,410	0,057
Współczynnik β Spectral characteristic slope (β)	0,999	100,02	3,924	0,535	-0,031
Liczba zdarzeń EA Number of acoustic events	0,998	165,81	6,035	0,342	0,053



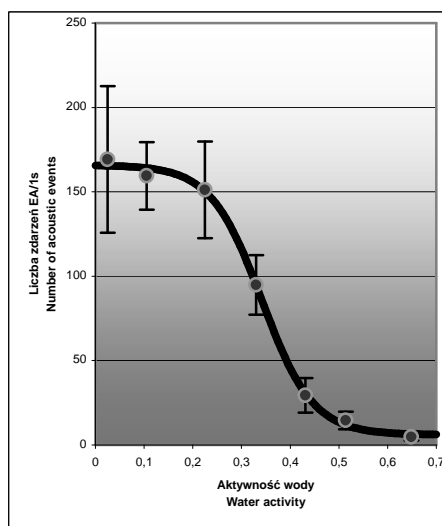
Rys. 3. Wpływ aktywności wody na całkowitą energię EA

Fig. 3. Influence of water activity on total acoustic energy



Rys 4. Wpływ aktywności wody na współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (β)

Fig. 4. Influence of water activity on spectral characteristic slope (β)



Rys. 5. Wpływ aktywności wody na liczbę zdarzeń EA

Fig. 5. Influence of water activity on total number of acoustic events

WNIOSKI

1. Charakterystyki widmowe dźwięku emitowanego przez badane płatki cechują się występowaniem dwóch pasm częstotliwości o zwiększonej gęstości sygnału emisji akustycznej, niezależnych od poziomu aktywności wody, które przypadają na zakresy 6-7 kHz i 11-14 kHz.

2. Zwiększenie aktywności wody w płatkach powoduje wzrost współczynnika nachylenia charakterystyki widmowej. Oznacza to, że zmiany w materiale wywołane przez wodę sprzyjają powstawaniu i propagacji dźwięków o wysokich częstotliwościach.

3. Wzrost aktywności wody w produkcie powyżej $a_w = 0,225$ powoduje spadek liczby zdarzeń emisji akustycznej oraz całkowitej energii dźwięku, a krytyczna aktywność wody wynosi odpowiednio 0,342 i 0,410.

4. Najniższą krytyczną aktywnością wody cechowała się liczba zdarzeń EA co oznacza, że posługując się tym wyróżnikiem możemy najszybciej uchwycić niekorzystne zmiany zachodzące w płatkach owsianych pod wpływem wody.

PIŚMIENNICTWO

- Castro-Prada E., Luyten H., Lichtendonk W., Hamer R., Van Vilet T. 2007. An improved instrumental characterization of mechanical and acoustic properties of crispy mechanical and acoustic properties of crispy cellular solid food. *Journal of Texture Stud.*, 38, 698-724.
- Duizer L., 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in food Science & Technology*, 12, 17-24.

- Gates F.K., Sontag-Strohm T., Stoddard F.L., Dobraszczyk B.J., Salovaara H., 2008. Interaction of heat-moisture conditions and physical properties in oat processing: II. Flake quality. *Journal of Cereal Science*, 48, 288-293.
- Gondek E., Lewicki P.P., Ranachowski Z., 2006. Influence of water activity on the acoustic properties of breakfast cereals. *Journal of Texture Studies*, 37 (5), 497-515.
- Harris M., Peleg M., 1996. Patterns of textural changes in brittle cellular cereal foods caused by moisture sorption. *Cereal Chemistry*, 73 (2), 225-231.
- Luyten H., Van Vliet T., 2006. Acoustic emission, fracture behavior and morphology of dry crispy foods: A discussion article. *Journal of Texture Stud.*, 37, 221-240.
- Malecki I., Opilski A., 1994. Charakterystyka i klasyfikacja sygnałów EA. W: *Emisja Akustyczna. Źródła. Metody. Zastosowania.* (Red. Malecki I., Ranachowski J.), Wyd. Biuro PASCAL, Warszawa, 35-52.
- Martinez-Navarrete N., Moraga G., Talons P., Chiralt A., 2004. Water sorption and the plasticization effect in wafers. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 555-561.
- Marzec A., Borowiec M., Lewicki P.P., 2005. Badanie tekstury pieczywa chrupkiego metodą emisji akustycznej. *Żywność. Nauka, Technologia. Jakość.*, 45 (4) Suplement, 75-84.
- Marzec A., Gondek E., 2007. Zależności pomiędzy wybranymi wyróżnikami tekstury krakersów oznaczonymi instrumentalnie i sensorycznie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 47 (2) Suplement, 219-226.
- Marzec A., Lewicki P.P., 2006a. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I. Extruded flat bread. *Journal of Food Engineering* 73, 1-8.
- Marzec A., Lewicki P.P., Jakubczyk E., 2006b. Badanie jakości krakersów metodą emisji akustycznej. *Żywność. Nauka, Technologia. Jakość.*, 46 (1) Suplement, 67-72.
- Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z., 2005. Właściwości mechaniczne i akustyczne suchych produktów zbożowych. *Inżynieria Rolnicza*, 63 (9), 207-214.
- Peleg M., 1998. Mechanical properties of dry brittle cereal products. W: *The Properties of Water in Foods ISOPOW 6* (ed. Reid E.). Blackie Academic & Professional, London.
- Ranachowski Z., 2000. Opis zestawu programów do obróbki sygnałów akustycznych. Dostępne w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji produkcji, SGGW, Warszawa, 1-6.
- Ranachowski Z., Gondek E., Lewicki P.P., Marzec A., 2005. Investigation of acoustic properties of compressed wheat bran flakes. *Archives of Acoustics*, 30 (2), 255-265.
- Taniwaki M., Hanada T., Sakurai N., 2006. Device for acoustic measurement of food texture using piezoelectric sensor. *Food Research International*, 39, 1099-1105.
- Tesch R., Normand M., Peleg M. 1996. Comparison of the acoustic and mechanical signatures of two cellular crunchy cereal foods at various water activity levels. *Journal of Science Food Agric.*, 70 (3), 347-352.

EFFECT OF WATER ACTIVITY ON SELECTED DESCRIPTORS
OF THE ACOUSTIC EMISSION OF OAT FLAKES

Ewa Gondek, Ewa Jakubczyk, Marek Maniewski

Department of Food Engineering and Process Management,
Faculty of Food Sciences, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_gondek@sggw.pl

Abstract. The aim of this work was to investigate how water activity influences the acoustic properties of oat flakes. Oat flakes at water activity within the range of 0.025- 0.649 were subjected to compression in bulk with the speed of 50 mm min⁻¹. Acoustic emissions were measured by a piezoelectric accelerometer and analysed. Total acoustic energy, number of acoustic events, energy of a single acoustic event and the slope of spectral characteristic were calculated. The relationship between water activity and acoustic parameters was non-linear and well described by Fermi's equation.

Key words: acoustic properties, oat flakes, water activity