

AGATA MARZEC, EWA JAKUBCZYK, GRAŻYNA CACAK-PIETRZAK

## PRÓBA ZASTOSOWANIA METODY EMISJI AKUSTYCZNEJ DO BADANIA ZIARNA WYBRANYCH ODMIAN PSZENICY JAREJ I OZIMEJ

### Streszczenie

Celem pracy była próba zastosowania metody emisji akustycznej do badania ziarna pszenicy wybranych odmian jarych (Eta, Jasna) i ozimych (Kobra, Rysa). Wykonano testy jednoosiowego ściskania pojedynczych ziarniaków z szybkością 10 mm/min za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick. Jednocześnie w czasie odkształcania materiału rejestrowano emitowane dźwięki, w zakresie częstotliwości od 0,1 do 15 kHz. Zaobserwowano duży rozrzut wartości deskryptorów akustycznych. Odmiany jare cechowała mniejsza liczba zdarzeń i mniejsza energia akustyczna niż odmiany ozime. Każda z badanych odmian pszenicy charakteryzowała się indywidualnym widmem spektralnym. Przed wykorzystaniem metody emisji akustycznej do badania konkretnych cech ziarna konieczna jest ogólna ocena jego właściwości akustycznych i ich zależności od wielu czynników, przy czym pomiary odpowiednich wielkości powinny odbywać się w podobnych warunkach. Metoda emisji akustycznej może być stosowana do badania ziarna, ale konieczne jest wykonanie dużej liczby pomiarów ze względu na istotną różnorodność ziarna w obrębie odmiany.

**Słowa kluczowe:** ziarno pszenicy, emisja akustyczna, właściwości mechaniczne

### Wstęp

Postęp w przemyśle przetwórstwa zbóż powoduje, że nieodzownym warunkiem zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu technologicznego staje się poznanie właściwości fizycznych ziarna. Znajomość mechanicznych właściwości jest konieczna do właściwego zaprojektowania parametrów systemów przechowywania albo przetwarzania materiałów roślinnych i pozwala na optymalny dobór maszyn i urządzeń oraz parametrów ich pracy [5]. W praktyce przemysłowej, obok wielkości ziarna, duże znaczenie ma struktura bielma (szklistość, twardość) i jej powiązanie z okrywą owocownasienną. Cechy te zależą przede wszystkim od czynników genetycznych, ale wpływa-

---

*Dr inż. A. Marzec, dr inż. E. Jakubczyk, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, dr inż. G. Cacak-Pietrzak, Zakład Technologii Zbóż, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa*

ją na nie również zastosowane warunki uprawy, zbioru i przechowywania ziarna. Wartość technologiczną pszenicy ocenia się za pomocą wielu wskaźników uwzględniających wartość przemiałową ziarna oraz wypiekową mąki [1]. Większość prowadzonych badań dotyczy oceny wartości wypiekowej mąki, mniej jest prac dotyczących oceny pszenicy w aspekcie cech wytrzymałościowych. Ciągłe poszukiwane są szybkie i proste metody oceny jakości ziarna zbóż dla potrzeb technologów i handlowców.

Metody akustyczne, szczególnie ultradźwięki, są coraz powszechniej stosowane w technologii żywności. Llull i wsp. [2] wykorzystali pomiary szybkości fali ultradźwiękowej do oceny tekstury mięsa. Ultradźwięki stosowane są również do wykrywania wewnętrznych uszkodzeń w ciałach stałych. Stasiak i wsp. [5] wykazali przydatność metody ultradźwiękowej do wyznaczania modułu sprężystości ładunku ziaren zboża i rzepy o różnych wilgotnościach. Emisja akustyczna (EA) jest rozumiana jako zjawisko fizyczne i jako metoda pomiarowa. W tym pierwszym przypadku pod pojęciem EA ciał stałych rozumie się wytwarzanie w materiałach fal sprężystych, przy czym generacja ich jest spowodowana dynamiczną, lokalną przebudową struktury materiału. Obszar materiału, w którym zachodzi proces deformacyjny uważa się za źródło EA [7]. Fale sprężyste wypromieniowane przez źródło rozchodzą się w objętości materiału i dochodzą do powierzchni, gdzie mogą być zarejestrowane. Obecnie stosowane są dwie metody rejestracji EA: kontaktowa i mikrofonowa [4]. Metoda kontaktowa EA może być wykorzystywana do badania płodów rolnych, np. owoców i warzyw w czasie ich przechowywania, transportu, suszenia, zamrażania itp. Jest to metoda bardzo czuła i pozwala wykryć różnice powstające w strukturze badanych surowców, ale różnych odmian. Badania różnych tkanek roślinnych wykazały, że źródłami sygnałów są pęknięcia ścian komórkowych, pęknięcie międzykomórkowych połączeń pektynowych oraz tarcie narzędzia obciążającego mechanicznie próbkę o fragmenty tkanki [8, 9].

Celem podjętych badań była próba zastosowania metody emisji akustycznej do badania ziarna pszenicy wybranych odmian jarych i ozimych.

### **Materiał i metody badań**

Materiał badawczy stanowiło ziarno pszenicy odmiany ozimej (Kobra, Rysa) i jarej (Eta, Jasna). Oznaczenie aktywności wody ( $a_w$ ) prowadzono za pomocą higrometru Hygroskop DT firmy Rotronic z dokładnością do 0,001. Wykonywano testy jednoosiowego ściskania pojedynczych ziarniaków z szybkością 10 mm/min za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick. Jednocześnie w czasie niszczenia materiału rejestrowano emitowane dźwięki (EA) w zakresie częstotliwości od 0,1 do 15 kHz. Badania wykonano w 20 powtórzeniach.

Wyznaczano siłę i pracę ściskania materiału oraz parametry akustyczne, takie jak: amplitudę, liczbę zdarzeń EA, energię dźwięku, widma spektralne. Wyznaczano współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej ( $\beta$ ) jako iloraz energii dźwięku

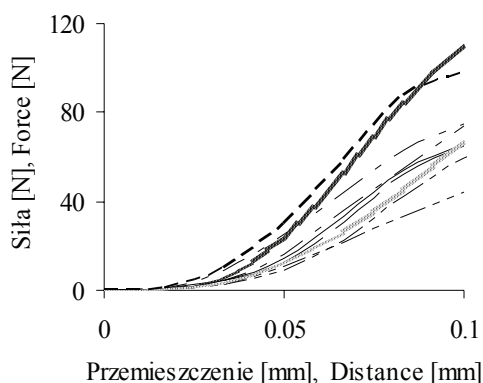
w pasmach wysokich częstotliwości do energii dźwięku w pasmach niskich częstotliwości.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono w programie Statgraphics 5.1. Najmniejszą istotną różnicę (NIR) określono za pomocą testu t-Tukeya.

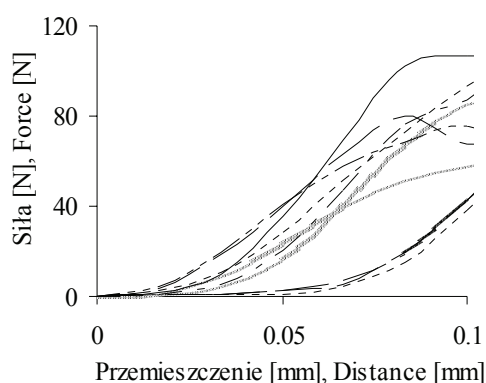
### Wyniki i ich omówienie

W pracy założono, że aktywność wody ziarna nie miała wpływu na uzyskane wyniki, ponieważ kształtowała się na zbliżonym poziomie (tab. 1.).

Wykonując testy ściskania i akustyczne zaobserwowano bardzo dużą heterogeniczność materiału w obrębie odmiany. Na rys. 1. i 2. przedstawiono przykładowe krzywe ściskania ziarna odmiany jarej Eta i ozimej Kobra. Otrzymane krzywe w obrębie odmiany były bardzo zróżnicowane. Wystąpiła również duża zmienność właściwości mechanicznych. Analiza statystyczna wykazała, istotne zróżnicowanie średnich parametrów mechanicznych i akustycznych (tab. 1). Pszenice jare były bardziej wytrzymałe niż ozime. Największą twardością charakteryzowała się pszenica Jasna, a najmniejszą Rysa. Wg Cacak-Pietrzak i wsp. [1] odmiany jare są twardsze, ponieważ cechuje je znacznie większa szklistość struktury bielma niż odmiany ozime.

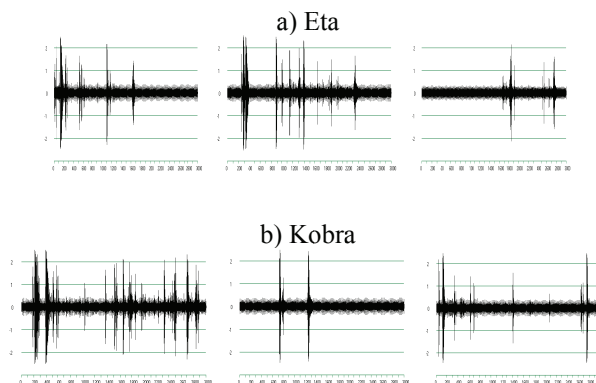


Rys. 1. Krzywe ściskania ziarna pszenicy jarej Eta.  
Fig. 1. Compression curves of spring wheat grain, type Eta.



Rys. 2. Krzywe ściskania ziarna pszenicy ozimej Kobra.  
Fig. 2. Compression curves of winter wheat grain, type Kobra.

Podobnie, jak krzywe ściskania, charakterystyki amplitudowo-czasowe były bardzo różnorodne w obrębie odmiany. Analiza tych zależności pozwala sądzić, że proces generacji sygnału EA ma postać serii krótkich impulsów o zmieniającym się natężeniu. Maksymalne średnie wartości amplitudy dźwięku były podobne i nie zależały od cech odmianowych, ale stwierdzono istotne różnice między ilością zdarzeń emisji akustycznej (rys. 2 i 3).



Rys. 3. Charakterystyki amplitudowo-czasowe dźwięku emitowanego podczas deformacji ziarna pszenicy: a) jarej Eta i b) ozimej Kobra (oś pozioma - czas [s], oś pionowa- amplituda dźwięku [V]).

Fig. 3. Amplitude-time profiles of the sounds emitted while deforming grains of: a) Eta spring wheat; b) Kobra winter wheat (horizontal axis : time [s]; vertical axis: amplitude [V]).

Tabela 1

Zestawienie wartości aktywności wody, parametrów mechanicznych i deskryptorów emisji akustycznej ziarniaków pszenicy ( $\alpha=0,05$ ;  $n=19$ ).

Comparative Listing of water activity, mechanical parameters, and descriptors of acoustic emission values of wheat grains ( $\alpha=0.05$ ;  $n = 19$ ).

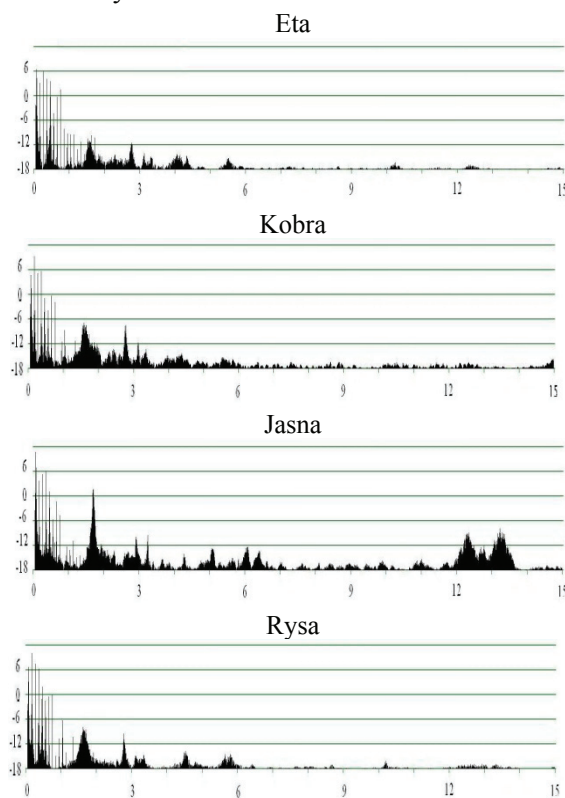
Odmiana pszenicy Variety of wheat	Aktywność wody Water activity $a_w$	Siła ściskania Compression force [N]	Praca ściskania Compression work [mJ]	Liczba zdarzeń EA Acoustic events	Energia jednego zdarzenia EA Acoustic energy of one event	Energia akustyczna [mV] Acoustic energy	Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej [β] Partition power spectrum slope [β]
Eta	0,308	73,1a	2,8a	387,1a	493,6a	186,2a	0,039a
Jasna	0,312	105,1b	3,9b	537,5ab	450,0ab	238,5ab	0,374b
Kobra	0,305	70,9ac	2,7ac	468,1abc	477,0ac	220,5abc	0,084a
Rysa	0,320	68,3c	1,7c	704,1b	472,0b	332,9bc	0,059a

a, b, c – grupy jednorodne / homogeneous groups

Zaobserwowano duży rozrzut wartości deskryptorów akustycznych. Analiza istotności różnic między wartościami średnimi określonych deskryptorów EA wykazała, że parametrami, które najbardziej je różnicowały były: liczba zdarzeń i energia akustyczna (tab. 1). Odmiany jare w porównaniu z ozimymi cechowała niższa liczba zdarzeń i energia akustyczna. Spośród pszenic ozimych Rysa emitowała o około 33 % więcej zdarzeń EA niż Kobra, natomiast w grupie jarych, Jasna generowała około 28 % zdarzeń EA

więcej niż Eta (tab. 1). W literaturze wykazano, że różnice w liczbie zdarzeń EA i energii akustycznej wynikają ze struktury materiału, a także wielkości oraz wrodzonych defektów, gdzie pęknięcie się rozpoczyna [3]. Wszystkie materiały zawierają defekty i mają słabsze miejsca, w których następuje koncentracja naprężeń. W czasie procesu suszenia surowców roślinnych oprócz odkształceń sprężystych powstają także odkształcenia nieodwracalne tj. pęknięcie materiału, zależne od wielkości naprężeń suszarniczych (termicznych i wilgotnościowych) i czasu ich występowania [4].

Charakterystyki widmowe przedstawione na rys. 4., mają one układ charakterystyczny dla danego ziarna, występują maksima generowanego sygnału emisji akustycznej. Ziarna odmian: jarej Eta i ozimych Kobra i Rysa emitowały najczęściej dźwięków w zakresie niskich częstotliwości. Natomiast ziarno odmiany ozimej Jasna generowało sygnał zarówno o niskich, jak i o wysokich częstotliwościach. Wawers [6] wykazał, że częstotliwość dźwięku zależy przede wszystkim od rodzaju i struktury materiału, który jest deformowany.



Rys. 4. Charakterystyki widmowe ziarna pszenicy (oś pozioma – częstotliwość dźwięku [kHz], oś pionowa – natężenie dźwięku [dB]).

Fig. 4. Acoustic emission signal spectral characteristic of wheat grain (horizontal axis: frequency [kHz], vertical axis: sound intensity [dB]).

Przed wykorzystaniem metody emisji akustycznej do badania konkretnych cech ziarna potrzebna jest ogólna ocena jego właściwości akustycznych i ich zależności od wielu czynników, przy czym pomiary odpowiednich wielkości powinny odbywać się w podobnych warunkach. Niejednorodność materiału ma bardzo duży wpływ na jego emisję akustyczną.

### Wnioski

1. Ziarno badanych odmian pszenicy wykazywało istotne zróżnicowanie pod względem właściwości akustycznych. Odmiany jare cechowała mniejsza liczba zdarzeń i mniejsza energia akustyczna niż odmiany ozime. Każda odmiana pszenicy charakteryzowała się indywidualnym widmem spektralnym.
2. Metoda emisji akustycznej może być stosowana do badania ziarna, ale konieczne jest wykonanie dużej liczby pomiarów, ze względu na istotną różnorodność ziarna w obrębie odmiany. Uzyskane informacje miały charakter wstępny i powinny być uzupełnione dalszymi badaniami przeprowadzonymi na większej liczbie odmian oraz porównane z właściwościami technologicznymi ziarna, takimi jak: zawartość białka czy szklistość ziarna.

*Praca była prezentowana podczas VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.*

### Literatura

- [1] Cacak-Pietrzak G., Ceglińska A., Torba J.: Wartość wypiekowa wybranych odmian pszenicy z hodowli „Nasiona Kobierzyc”. Pamiętnik Puławski, 2005, s. 27-38.
- [2] Llull, P., Simal, S., Femenia, A., Benedito, J., Rosello, C.: The use of ultrasound velocity measurement to evaluate textural properties of sobrassada from Mallorca. J. Food Eng., 2002, **52**, 323-330.
- [3] Luyten H., Plijter J.J., van Vliet T.: Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods a literature review with discussion. J. Texture Studies, 2004, **35**, 445-492.
- [4] Marzec A. Zastosowanie emisji akustycznej do badania właściwości suszonych materiałów porowatych. W: Właściwości fizyczne suszonych surowców i produktów spożywczych. Wyd. Naukowe FRNA, 2007.
- [5] Stasiak M., Molenda M., Horabik J.: Determination of modulus of elasticity of cereals and rapeseeds using acoustic method. J. Food Eng., 2007, **82**, 51-57.
- [6] Wavers M.: Listening to the sound of materials: acoustic emission for the analysis of material behaviour. NDT E Inter. 1997, **30** (2), 99-106.
- [7] Witos F.: Część I – Pojęcia podstawowe. Fale sprężyste emisji akustycznej. W: Emisja akustyczna. Źródła, metody, zastosowania - pod red. Malecki I., Ranachowski J. Wyd. Biuro PASCAL, Warszawa, 35-54.
- [8] Zdunek A., Konstankiewicz K.: Emisja akustyczna w badaniach procesów pęknięcia tkanek roślinnych. Acta Agrophysica, 2001, **55**, 95.
- [9] Zdunek A., Ranachowski Z.: Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. Electr. J. Pol. Agric. Univ., 2006, **9** (4).

**ATTEMPT TO APPLY ACOUSTIC EMISSION METHOD TO STUDY GRAINS OF SPRING AND WINTER WHEAT VARIETIES****S u m m a r y**

The objective of the study was to assess the practical application of acoustic emission method to investigate the spring (Eta, Jasna) and winter (Kobra, Rysa) varieties of wheat grains. The uniaxial compression tests were carried out using a 'ZWICK' Universal Testing Machine; single grains were compressed with a speed of 10 mm/min. At the same time, while compressing the material, emitted sounds were recorded within a frequency range from 0.1 to 15 kHz. A high dispersion of acoustic descriptors values was found. The spring varieties of wheat were characterized by a lower number of events and a lower acoustic energy than the winter varieties. Each of the varieties investigated had a specific, individual spectrum. Prior to applying the acoustic emission method to investigate particular properties of grain, it is indispensable to generally evaluate the grain's acoustic properties and to determine in what way they depend on many factors. Additionally, the measurements of the relevant parameters should be carried out under the similar conditions. The acoustic emission method can be applied to investigate the grain, but, then, it is indispensable to take very many measurements owing to the high diversity of grains within the same variety.

**Key words:** wheat grain, acoustic emission, mechanical properties ☒