

Dr inż. Ewa GONDEK
Dr inż. Ewa JAKUBCZYK
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Dr inż. Grażyna CACAK-PIETRZAK
Katedra Technologii Żywności, Zakład Technologii Zbóż
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNE WYBRANYCH ODMIAN PSZENICY OZIMEJ®

Praca finansowana w ramach grantu nr N312 158 834 MNiSW w latach 2008-2010

Celem pracy badawczej była analiza wybranych deskryptorów dźwięku emitowanego podczas jednoosiowego ściskania pojedynczych ziarniaków pszenicy odmian: Bogatka, Finezja, Mewa i Turnia. Ziarniaki odmiany Finezja ściskano z prędkościami 10, 20, 30, 40 i 50 mm/min. W przypadku pozostałych odmian ściskanie prowadzono z szybkością 20 mm/min, za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick. Emisję akustyczną w zakresie częstotliwości od 0,1 do 15 kHz rejestrowano metodą kontaktową. Wyznaczono wybrane deskryptory emisji akustycznej oraz wybrane tradycyjne wskaźniki oceny jakości ziarna. Wykazano, że prędkość przesuwu głowicy maszyny wytrzymałościowej wpływa na liczbę zdarzeń EA i całkowitą energię sygnału EA.

Każda z badanych odmian pszenicy posiadała indywidualne widmo spektralne. W widmach tych występowały charakterystyczne pasma o zwiększonej energii sygnału EA przypadające na zakresy 1-2kHz i 11-13kHz. Najwyższe wartości współczynnika nachylenia charakterystyki widmowej, liczby zdarzeń EA oraz całkowitej energii sygnału EA uzyskano dla odmiany Bogatka.

WSTĘP

Duże zróżnicowanie cech jakościowych ziarna zbóż stwarza problemy przy ocenie przydatności surowca dla celów produkcyjnych. Producenci mąki, pieczywa, makaronów, kasz, płatków mają ściśle określone potrzeby i wymagania względem surowca, których spełnienie jest warunkiem koniecznym uzyskania produktu o dobrej jakości [2, 7]. Stwarza to potrzebę opracowania metod analitycznych, które w szybki, wygodny a zarazem obiektywny sposób pozwoliłyby ocenić surowiec zbożowy zastępując w części tradycyjne, czasochłonne metody oceny ziarna.

Wymienione warunki spełniają metody akustyczne, które jak dotąd nie były stosowane do oceny towaroznawczej ziarna zbóż, ale od kilku lat z powodzeniem stosowane są do analizy innych płodów rolnych [10, 11] oraz żywności przetworzonej [5, 8].

Jakość ziarna pszenicy zależy od czynników genetycznych (odmiany) oraz warunków siedliskowych (typu gleby, warunków pogodowych, zastosowanej agrotechniki). Istotny wpływ na cechy jakościowe ziarna mają również warunki zbioru, transportu i przetwarzania, których niewłaściwe przeprowadzenie może w znacznym stopniu pogorszyć jakość surowca. Ocenę ziarna pszenicy standardowo przeprowadza się pod kątem właściwości przemiałowych do których należą: wilgotność, celność i wyrównanie, szklistość, gęstość w stanie usypowym, zawartość zanieczyszczeń i zawartość popiołu oraz właściwości wypiekowych: zawartość białka ogółem, ilość i jakość glutenu, wskaźnik sedymentacji, liczba opadania oraz cechy reologiczne ciasta. Większość z tych wyróżników oznaczana jest za pomocą tradycyjnych, dość pracochłonnych procedur, trudnych do przeprowadzenia w warunkach skupu [2, 7].

Metody akustyczne pozwalają na rejestrację i analizę fal dźwiękowych generowanych w materiale. Emisja akustyczna (EA) jest ściśle związana z właściwościami ośrodka [5, 9]. Emisja dźwięku jest tym silniejsza im większą twardością

cechuje się badany produkt. Ziarno zbóż jest materiałem, który nadaje się do badania tą techniką, jest materiałem twardym o niskiej odkształcalności, dlatego wydaje się, że interesujące byłoby rozszerzenie stosowanych technik oceny ziarna o rejestrację i analizę emisji akustycznej.

Celem pracy zaprezentowanej w artykule jest określenie wpływu warunków przeprowadzenia testu na przebieg charakterystyk widmowych i wartości wybranych deskryptorów EA ziarna czterech odmian pszenicy ozimej.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ziarno czterech odmian pszenicy ozimej: Bogatka (grupa jakościowa B), Finezja (A), Mewa (B) i Turnia (A). Aktywność wody ziarna zmierzono w aparacie Rotronic Hygroscopt DT z dokładnością do 0,001 w temperaturze 22 ± 1 , 5°C , wilgotność ziarna wyznaczono metodą suszenia w temperaturze 130°C . Oznaczono: szklistość ziarna, twardość przy użyciu przystawki do farinografu Brabendera przy szczelinie mielącej 100/5 oraz zawartość białka ogółem metodą Kjeldahla (Nx5, 83) [6]. Charakterystykę cech technologicznych ziarna badanych odmian pszenicy przedstawiono w tabeli 1.

Testy jednoosiowego ściskania pojedynczych ziarniaków z szybkością przesuwu głowicy 20 mm/min, wykonano w maszynie wytrzymałościowej Zwick GmbH. Dla odmiany Finezja badania przeprowadzono przy różnych prędkościach niszczenia: 10, 20, 30, 40 i 50 mm/min. W czasie niszczenia materiału rejestrowano sygnał EA, który zawierał się w paśmie częstotliwości od 0,1 do 15 kHz.

Aparatura pomiarowa EA składała się z akcelerometru piezoelektrycznego typu 4381V firmy Bruel&Kjaer, zamontowanego nad głowicą maszyny wytrzymałościowej. Sygnał emisji akustycznej wzmacniano w liniowym wzmacniaczu niskosumowym. Emisję akustyczną podczas niszczenia ziarna

niaków rejestrowano za pomocą karty przetwarzania analogowo-cyfrowego firmy Adlink (typ 9112, częstość próbkowania 44,1 kHz).

Tabela 1. Cechy technologiczne ziarna badanych odmian pszenicy

Odmiana pszenicy	a_w	Zawartość wody (%)	Szklistość (%)	Twardość (j.B)	Zawartość białka ogółem (% s.s.)
Finezja	0,400b	13,0ab	65c	860a	12,3a
Bogatka	0,382a	12,6a	31b	920b	12,4a
Mewa	0,399b	13,9b	6a	840a	13,7b
Turnia	0,415c	13,4ab	69c	1000b	12,8a

a, b – grupy homogeniczne

Obliczenia, analizę wykresów i wyników przeprowadzono przy użyciu programów: TableCurve 2D v3, oraz programów do analizy dźwięku [8]: Widmo_i_wspnachyl., Calculate_01 ms_44, Akustogr44_60s.

Obliczono:

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

Energię sygnału akustycznego, j.u.:

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 μ s.

Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (β):

$$\beta = \frac{\sum_{n=2}^{n \rightarrow 11} c_n}{\sum_{n=13}^{n \rightarrow 1} c_n} \quad (2)$$

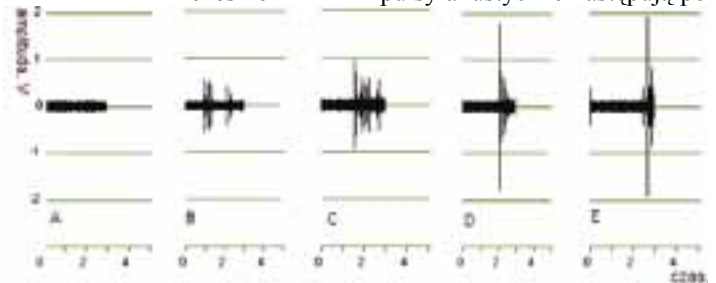
gdzie: c_n – gęstość widma obliczona na podstawie dyskretnej transformaty Fouriera.

Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy poziomie istotności α – 5%, wykorzystano program statystyczny Statgraphics Plus 4.1, do szczegółowego porównania średnich stosowano test Tukey'a.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przyłożenie zewnętrznej siły do materiału twardego o niskiej odkształcalności jakim jest ziarno powoduje powstanie efektu akustycznego. W obciążonym materiale powstaje pęknięcie, które jest źródłem fal dźwiękowych. Fale te początkowo pozostają w materiale, a następnie osiągają powierzchnię materiału, gdzie są rejestrowane za pomocą urządzenia pomiarowego [5]. Efekt dźwiękowy jaki jest rejestrowany wynika przede wszystkim z właściwości materiału, takich jak, struktura [3, 4, 8] czy skład chemiczny [1, 4], ale również z warunków przeprowadzania testu (rodzaj obciążenia, prędkość, itp.). Emisja akustyczna zarejestrowana w surowcu zbożowym ma postać sygnału dyskretnego, jest to szereg krótkich (średni czas trwania 88 μ s) impulsów o zmiennej amplitudzie. Charakterystyki

amplitudowo-czasowe dźwięków towarzyszących ścisaniu ziarniaków odmiany Finezja przy różnych prędkościach przesuwu głowicy maszyny wytrzymałościowej przedstawiono na rysunku 1. Ze wzrostem szybkości niszczenia wyraźnie wzrastała maksymalna amplituda generowanego dźwięku. Szczegółowa analiza zapisu tych dźwięków (tab. 2) pokazuje, że ze wzrostem prędkości niszczenia ziarniaka rośnie zarówno całkowita energia emisji akustycznej jak i liczba zdarzeń EA, natomiast średnia energia pojedynczego zdarzenia EA nie zmienia się istotnie statystycznie. Pojedyncze zdarzenie EA jest związane z niszczeniem elementu struktury badanego materiału, dlatego ze wzrostem szybkości ścisania, pęknięcia i występujące jednocześnie z nimi impulsy akustyczne następują po



Rys. 1. Charakterystyki amplitudowo-czasowe EA ziarna pszenicy odmiany Finezja przy zróżnicowanej prędkości ścisania A) 10 mm/min, B) 20mm/min, C) 30 mm/min D) 40mm/min E) 50 mm/min.

Mimo, że istotnie rośnie całkowita energia sygnału akustycznego to nachylenie charakterystyki widmowej nie zmienia się ze wzrostem prędkości niszczenia materiału (tab. 2), co oznacza, że szybkość niszczenia ziarniaka nie wpływa na częstość generowanego dźwięku EA, a co za tym idzie na przedziałową gęstość widmową uzyskanych charakterystyk.

Tabela 2. Wybrane deskryptory EA ziarna pszenicy odmiany Finezja przy różnych prędkościach niszczenia ziarna

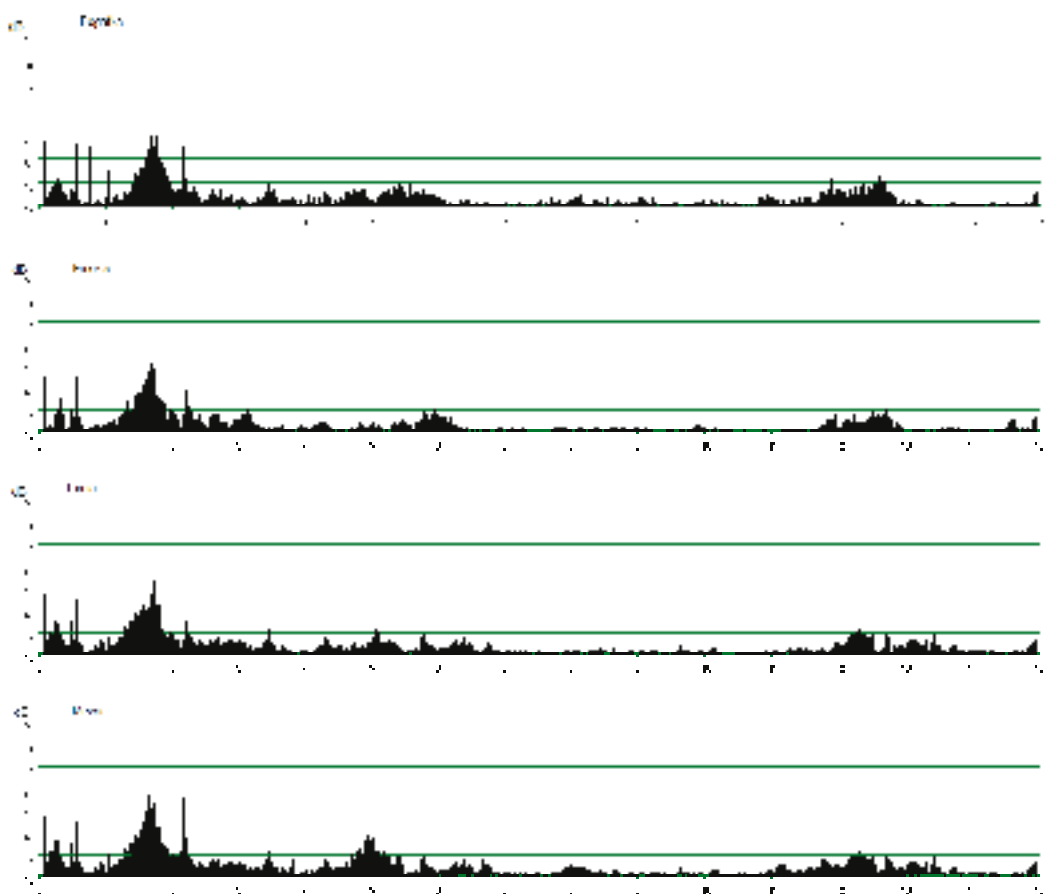
Prędkość niszczenia ziarna (mm/min)	Liczba zdarzeń EA	Średnia energia zdarzenia EA	Całkowita energia EA (mV)	Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (β)
10	266,33 a	490,33 a	2195,29 a	0,12 a
20	686,88 b	480,85 a	3635,38 b	0,31 b
30	880,98 b c	479,51 a	3566,00 b	0,28 b
40	930,33 c	473,22 a	3905,50 b	0,27 b
50	1243,01 d	479,91 a	4952,67 c	0,25 b

Uzyskane w pracy charakterystyki amplitudowo-czasowe były dość zróżnicowane w obrębie odmiany, jednak duże zróżnicowanie cech jakościowych indywidualnych ziarniaków jest cechą charakterystyczną surowca zbożowego. Nawet ziarno uzyskane z tego samego kłosa różni się istotnie w zależności od położenia w kłosie [2, 7].

Tabela 3. Deskryptory emisji akustycznej ziarna badanych odmian pszenicy przy prędkości niszczenia 20 min/min

Odmiana pszenicy	LICZBA zdarzeń EA	Średnia energia zdarzenia EA	Całkowita energia EA (mV)	Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej (β)
Finezja	686,88 ab	480,85 a	3635,38 a	0,31 a
Bogatka	797,11 b	451,22 a	3806,10 b	0,50 b
Mewa	626,67 ab	463,27 a	2915,00 c	0,31 a
Turnia	596,55 a	471,11 a	3557,38 ab	0,28 a

Średnie wartości amplitudy dźwięku dla ziarna czterech badanych odmian pszenicy były zbliżone. Stwierdzono natomiast istotne statystycznie różnice w ilości zdarzeń emisji akustycznej (tab. 3) i współczynnikach nachylenia charakterystyki widmowej. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe widma badanych odmian pszenicy. Emisja akustyczna z przedziału 0-1 kHz nie była brana pod uwagę w obliczeniach, gdyż w tym przedziale częstotliwości mieści się tzw. tło akustyczne (dźwięki pochodzące z zewnątrz, w tym praca maszyny wytrzymałościowej). Charakterystykę amplitudowo czasową i widmo tła akustycznego przedstawiono na rysunku 3.



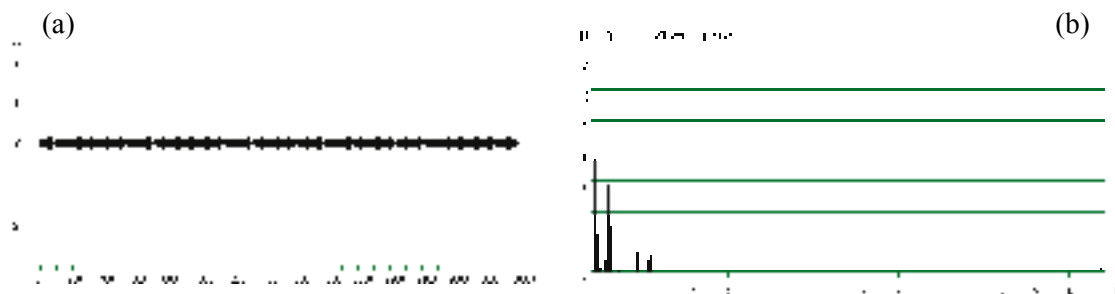
Rys. 2. Charakterystyki widmowe EA ziarna badanych odmian pszenicy (oś pozioma – częstotliwość dźwięku [kHz], oś pionowa – natężenie dźwięku [dB]).

Charakterystyczne pasma o zwiększonej energii sygnału EA przypadają na zakres 1-2 kHz i 11-13 kHz. Wielu autorów uważa, że każdy produkt posiada swój własny, charakterystyczny profil częstotliwości generowanego dźwięku, współczynnik nachylenia widma pozwala ocenić jakie dźwięki dominują w tej charakterystyce. Najwyższą wartość współczynnika nachylenia charakterystyki widmowej (β) obliczono dla odmiany Bogatka (pozostałe odmiany nie różniły się istotnie statystycznie pod względem tego współczynnika), podobnie liczba zdarzeń i całkowita energia EA przyjmowała wartości najwyższe dla ziarna tej odmiany. Może to wynikać z faktu, że ziarniaki odmiany Bogatka cechowały się spośród badanych próbek najniższą zawartością i aktywnością wody. Wpływ aktywności (zawartości) wody na akustyczne wyróżniki tekstury jest w literaturze dobrze udokumentowany dla wielu produktów spożywczych, w tym produktów pochodzenia zbożowego [1, 3, 4]. Kruchość, chrupkość wiązana przez badaczy z energią emitowanego dźwięku jest ściśle zależna od zawartości wody. Woda umożliwia relaksację naprężeń a przez to ogranicza liczbę zdarzeń kruchego pęknięcia, które są źródłami fal dźwiękowych. Zależność współczynnika nachylenia charakterystyki mocy β od aktywności wody wykazano między innymi dla płatków zbożowych [3, 8], w przypadku ziarna pszenicy woda powoduje tłumienie dźwięków

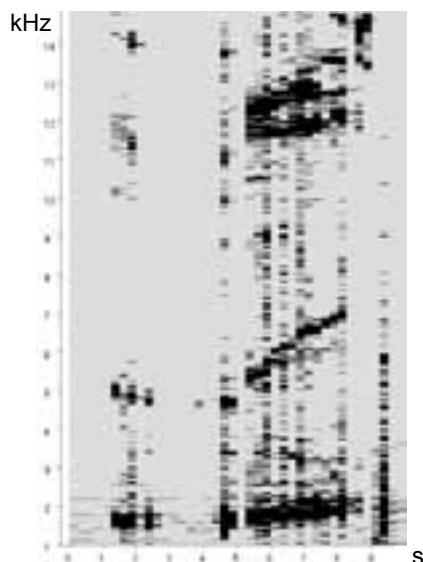
o częstotliwościach niskich (sprzyja propagacji dźwięków o częstotliwościach wysokich). Odmiana Mewa cechowała się jednocześnie małym udziałem ziaren szklistych, niską twardością bielma i najniższą spośród badanych wartością całkowitej energii EA, dla tej odmiany zawartość wody wynosiła 13,9% (przy $a_w=0,399$).

Przykładowy akustogram uzyskany w ramach niniejszej pracy przedstawiono na rysunku 4. Pozwala on obserwować badane zjawiska w czasie. Na początku, w 2-giej sekundzie eksperymentu pęka okrywa owocowo-nasienna czemu towarzyszy emisja dźwięków o niskich częstotliwościach, mocne dźwięki w paśmie 11-13 kHz pojawiają się dopiero w fazie zgniatania ziarniaka i można przypuszczać, że są one związane z niszczeniem struktury wewnętrznej ziarniaka. Wydaje się, że inter

teresująca dla dalszych badań byłaby analiza EA uzyskanej z ziarniaków pozbawionych okrywy owocowo-nasiennej i porównanie jej z wynikami uzyskanymi w niniejszej pracy oraz szczegółowe zbadanie wpływu aktywności wody na cechy akustyczne ziarna pszenicy w obrębie jednej odmiany.



Rys. 3. Charakterystyka amplitudowo-czasowa (a) i widmo (b) tła akustycznego (maszyna wytrzymałościowa Zwick).



Rys. 4. Przykładowy akustogram.

PODSUMOWANIE

Badany surowiec cechowało duże zróżnicowanie cech jakościowych, zarówno wyznaczonych w sposób tradycyjny, jak i metodą EA. Prędkość ściskania ziarniaków w istotny sposób wpływała na niektóre, spośród badanych deskryptorów dźwięku. Każda z odmian posiadała własny profil widma, jednak wszystkie cztery badane odmiany cechowały się występowaniem maksimum energii sygnału przy zbliżonej częstotliwości. Zaprezentowana praca ma charakter badań wstępnych, które wymagają rozszerzenia, jednak już na tym etapie można stwierdzić, że technika pomiarowa EA może być zastosowana do badania ziarna pszenicy. Jako metoda badania cech strukturalno-mechanicznych, EA może stanowić cenne źródło informacji dotyczących przydatności surowca zbożowego do przetwórstwa.

LITERATURA

- [1] Duizer L.: A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures, *Trends in Food Science & Technology*, 2001, 12, 17-24.
- [2] Geodecki M., Grundas S.: Ocena cech technologicznych pojedynczych ziarniaków pszenicy w zależności od ich położenia w kłosie, *Biuletyn Zakładu Fizycznych Podstaw Oceny i Ulepszania Materiałów Roślinnych IA PAN w Lublinie*, 1998, 2, 25-26.

- [3] Gondek E., Lewicki P.P., Ranachowski Z.: Influence of water activity on the acoustic properties of breakfast cereals, *Journal of Texture Studies*, 2006, 37 (5), 497-515.
- [4] Luyten H., Van Vliet T.: Acoustic emission, fracture behavior and morphology of dry crispy foods: A discussion article, *Journal of Texture Studies*, 2006, 37, 221-240.
- [5] Malecki I., Opilski A.: Charakterystyka i klasyfikacja sygnałów EA. W: *Emisja Akustyczna, Źródła, Metody, Zastosowania*, (red. Malecki I., Ranachowski J.), Biuro PASCAL, Warszawa 1994, 35-52.
- [6] Praca zbiorowa: *Analiza zbóż i przetworów zbożowych*, (red. Jakubczyk J., Haber T.), SGGW-AR, Warszawa 1983.
- [7] Praca zbiorowa: *Pszenica, chemia i technologia*, (red. Gąsiorowski H.), PWRiL, Poznań 2004.
- [8] Ranachowski Z., Gondek E., Lewicki P.P., Marzec A.: Investigation of acoustic properties of compressed wheat bran flakes, *Archives of Acoustics*, 2005, 30 (2), 255-265.
- [9] Witos F.: Część I – Pojęcia podstawowe. Fale sprężyste emisji akustycznej, w: *Emisja akustyczna Źródła, Metody, Zastosowania*, (red. Malecki I., Ranachowski J.), Biuro PASCAL, Warszawa 1994, 35-54.
- [10] Zdunek A., Konstankiewicz K.: Emisja akustyczna w badaniach procesów pęknięcia tkanek roślinnych, *Acta Agrophysica*, 2001, 55, 95.
- [11] Zdunek A., Ranachowski Z.: Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 2006, 9 (4).

THE ACOUSTIC PROPERTIES OF SELECTED VARIETIES OF WINTER WHEAT

SUMMARY

The aim of this work was to analyze the acoustic emission of selected varieties of wheat (Finezja, Bogatka, Mewa, Tur-nia). The uniaxial compression tests were carried out using Universal Testing Machine Zwick. A single grain was compressed with a speed of 20 mm/min, grains variety Finezja were compressed with the speed of 10, 20, 30, 40 and 50 mm/min. Acoustic emission was registered in range 0, 1-15 kHz using contact method and some standard quality features of grain were determined. It was shown that the speed of compression influences on the number of acoustic events and total acoustic energy. Each investigated variety had a specific spectral characteristic with the specific range of the frequency. The highest values of power partition slope, total acoustic energy and number of acoustic events was obtained for variety of Bogatka.