

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

Praca finansowana w ramach grantu nr N312 158834 MNiSW w latach 2008-2010

## WPŁYW AKTYWNOŚCI WODY NA DESKRYPTORY EMISJI AKUSTYCZNEJ ZIARNA PSZENICY WYZNACZONE METODĄ KONTAKTOWĄ®

*Celem pracy zaprezentowanej w artykule jest przedstawienie analizy wpływu aktywności wody na wybrane deskryptory emisji akustycznej (EA) ziarna pszenicy. Rejestrowano i analizowano dźwięk generowany podczas jednoosiowego ściskania pojedynczych ziarniaków pszenicy ozimej odmian Bogatka i Kobra Plus. Przed badaniem ziarno kondycjonowano w higrostatach do uzyskania założonych aktywności wody. Emisję akustyczną w zakresie częstotliwości od 0,1 do 18 kHz rejestrowano metodą kontaktową. Wykazano, że aktywność wody w ziarnie pszenicy statystycznie istotnie wpływała na większość wyznaczonych w pracy deskryptorów EA. W miarę wzrostu aktywności wody spadała liczba zdarzeń i całkowita energia EA, współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej zmieniał się nieliniowo.*

### WSTĘP

Metody pomiaru emisji akustycznej stosowane są w wielu dziedzinach nauki i techniki. Pozwalają one na rejestrację i analizę struktury i właściwości mechanicznych ośrodka. Źródłem informacji jest w tym przypadku energia generowana przez niejednorodności ośrodka. Powstawanie fal sprężystych w materiale może być związane z rozwojem mikropeknięć, dyslokacji, czy też przemieszczaniem się substruktur materiału względem siebie [13, 17, 21].

Na właściwości teksturalne żywności pochodzenia zbożowego duży wpływ wywiera aktywność wody. Dotychczas przeprowadzone badania [5, 7, 14, 15, 19] wykazały, że zależność emisji dźwięku od aktywności wody ma charakter nieliniowy oraz, że badania oparte wyłącznie na testach mechanicznych nie są wystarczające dla pełnej oceny tekstury materiału. Według Maleckiego i Opilskiego [13] w celu uzyskania pełnego obrazu procesów zachodzących w materiale, konieczne jest uzupełnienie pomiarów mechanicznych o analizę dźwięku generowanego w materiale zwłaszcza, że emisja dźwięku często poprzedza proces pęknięcia materiału.

W ostatnich latach w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW podjęto próby zastosowania metody emisji akustycznej (EA) do badania ziarna zbóż. Metodą EA badano różne odmiany pszenicy jarej i ozimej [16]. Oprócz wpływu czynnika odmianowego na deskryptory EA, analizowano również wpływ warunków uprawy (m.in. poziomu nawożenia azotem, systemu produkcji roślinnej) [6, 8]. Wykazano, że ziarno jest materiałem, który nadaje się do badania tą techniką.

Wytrzymałość ziarna pszenicy, a więc i jego podatność na uszkodzenia podczas zbioru i magazynowania, jak również zachowanie się podczas obróbki technologicznej zależy w dużym stopniu od jego wilgotności [3, 10, 20]. Wielu autorów [1, 10, 11, 12] zajmowało się analizą wpływu zawartości wody w ziarnie na jego cechy mechaniczne i zachowanie się

podczas przemiału. Analizowano wpływ wilgotności ziarna na pracę ściskania, moduł sprężystości, parametry progu wytrzymałości doraźnej i wiele innych wyróżników tekstury ziarna. Wykazano, że wilgotność ziarna w istotny sposób wpływała na mechanizm jego pęknięcia. W wymienionych pracach posługiwano się wyłącznie badaniami mechanicznymi, jak dotąd nie stosowano techniki EA do badania ziarna o zróżnicowanej wilgotności. Dlatego w niniejszej pracy podjęto próbę zastosowania metody kontaktowej pomiaru fal akustycznych do badania ziarna pszenicy o zróżnicowanej aktywności wody.

**Celem artykułu jest prezentacja przydatności metody emisji akustycznej (EA) do oceny wilgotności ziarna pszenicy.**

### METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ziarno dwóch odmian pszenicy ozimej: Bogatka i Kobra Plus zaliczanych do grupy pszenic chlebowych (B). Analiza cech fizyko-chemicznych ziarna obejmowała określenie: szklistości, twardości przy pomocy przystawki do farinografu Brabendera (przy szczelinie mielącej 100/5), wilgotności metodą suszenia do stałej masy oraz zawartości popiołu i białka ogółem metodą Kjeldahla (N×5,83) [9]. Wyniki oceny jakościowej badanych prób ziarna zamieszczono w tabeli 1. Ziarno badanych odmian pszenicy cechowało się podobną zawartością wody i popiołu oraz szklistością i twardością. Statystycznie istotne zróżnicowanie stwierdzono tylko w odniesieniu do ogólnej zawartości białka (tab. 1).

Aktywność wody w ziarnie pszenicy zmierzono w aparacie Rotronic Hygroscop DT z dokładnością do 0,001 w temperaturze 22±1,5°C. W celu zróżnicowania aktywności wody ziarno poddano suszeniu pod obniżonym ciśnieniem (70°C; 48 h; 5 kPa), a następnie nawilżano przez 30 dni w higrostaty o stałej, określonej wilgotności względnej. Po tym czasie powtórnie mierzono aktywność wody.

**Tabela 1.** Wybrane właściwości fizyczno-chemiczne ziarna badanych odmian pszenicy

Odmiana	Zawartość wody %	Szklistość %	Twardość j.B.	Białko ogółem % s.m.	Popiół % s.m.
Bogatka	12,5a	12a	680a	12,93b	1,62a
Kobra Plus	12,3a	6a	610a	13,41a	1,60a

Wartości średnie oznaczone tą samą małą literą (w kolumnach), nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$ .

Testy jednoosiowego ściskania ziarniaków pszenicy wykonano w maszynie wytrzymałościowej Zwick GmbH. Pojedyncze ziarna układano bruzdką w dół na dolnej nieruchomej płycie maszyny wytrzymałościowej, a następnie ścisano do stałej odległości między płytami wynoszącej 2 mm. Testy jednoosiowego ściskania z szybkością przesuwu głowicy 20 mm/min wykonano w 50 powtórzeniach. Sygnał EA, generowany przez materiał, rejestrowano za pomocą akcelerometru piezoelektrycznego typu 4507B firmy Bruel&Kjaer (czułość 5pC/g). Sygnał emisji akustycznej wzmacniano w liniowym wzmacniaczu niskosumowym i rejestrowano za pomocą karty przetwarzania analogowo-cyfrowego firmy Adlink (typ 9112, częstość próbkowania 44,1 kHz).

Obliczenia, analizę wykresów i wyników przeprowadzono przy użyciu programów: TableCurve 2D v3, oraz programów do analizy dźwięku [18]: Widmo\_i\_wspnachyl., Calculate\_01ms\_44, Akustogr44\_60s.

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

Obliczono:

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,  $\tau_1$  – odstęp czasu między pomiarami wynoszący 22  $\mu$ s.

Współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej ( $\beta$ ):

$$\beta = \frac{\sum_{n=2}^{n=11} c_n}{\sum_{n=3}^{n=13} c_n}$$

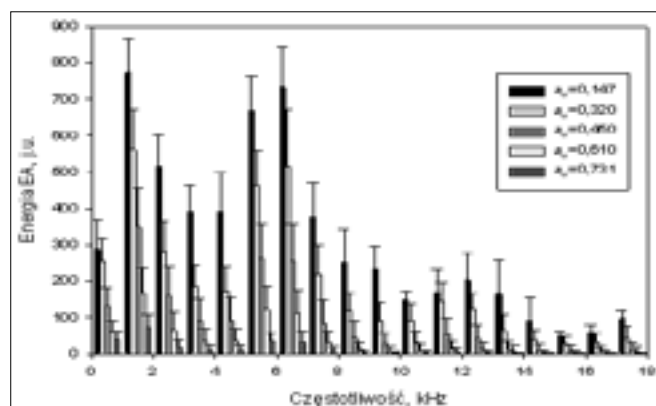
gdzie:  $c_n$  – gęstość widma obliczona na podstawie dyskretniej transformaty Fouriera.

Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy poziomie istotności  $\alpha = 5\%$ , do porównania średnich stosowano test Tukey'a, korzystano z programu statystycznego Statgraphics Plus 4.1

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Ze względu na dużą zmienność cech fizycznych ziarno zbóż jest specyficznym, trudnym do badania materiałem. Nawet w obrębie tej samej odmiany pszenicy, uprawianej w tych samych warunkach pogodowych i przy zastosowaniu tych samych zabiegów agrotechnicznych, poszczególne ziarna różnią się między sobą [2,4]. Uzyskane w ramach niniejszej pracy wyniki, podobnie jak wcześniejsze [6, 8, 16] dotyczące właściwości indywidualnych ziaren, cechowały się dużym rozrzutem. Emisja akustyczna zarejestrowana w surowcu zbożowym miała postać sygnału dyskretnego. Rejestrowano szeregi krótkich impulsów o średnim czasie trwania 100  $\mu$ s, o zmiennym natężeniu. Stosowane w pracy oprogramowanie umożliwiło

zliczanie tych impulsów i wyznaczenie ich parametrów (jak np. amplituda, czas trwania, energia), a zastosowanie przekształcenia Fouriera pozwoliło na wyznaczenie funkcji gęstości widmowej.

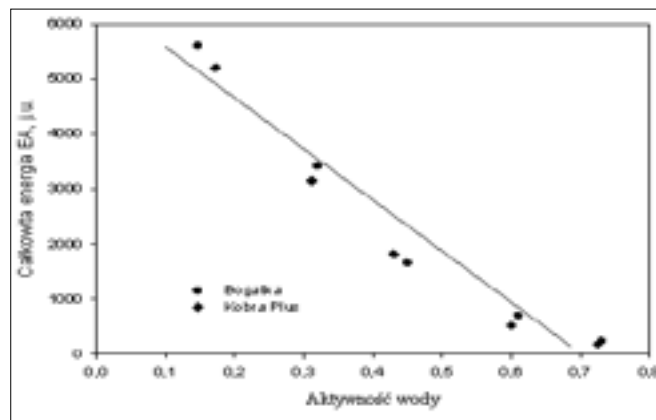


**Rys. 1.** Wpływ aktywności wody na uśrednione charakterystyki widmowe EA ziarna pszenicy na przykładzie odmiany Bogatka.

Charakterystyka widmowa emisji akustycznej badanego ziarna pszenicy cechowała się występowaniem trzech maksimów energii, które przypadały na zakresy 2-3, 5-7 i 11-13 kHz (rys. 1). Podobne wyniki uzyskali Gondek i wsp. [6, 8].

We wcześniejszych badaniach przeprowadzonych przez Marzec i wsp. [16] wyodrębniono dwa maksima energii, jednak badania te zostały przeprowadzone z zastosowaniem czujnika o znacznie mniejszej czułości, co tłumaczy rozbieżność rejestrowanych wyników. W charakterystyce widmowej dominowały fale o częstotliwościach niskich. Dźwięki o niskich częstotliwościach są typowe dla kruchych i chrupkich produktów pochodzenia zbożowego, jak pieczywo chrupkie [14], płatki zbożowe [5] czy krakersy [15].

Wzrost aktywności wody w ziarnie pszenicy powodował stopniowy, prawie liniowy spadek natężenia dźwięku w całym badanym zakresie częstotliwości (rys. 2).



**Rys. 2.** Wpływ aktywności wody na całkowitą energię dźwięku emitowanego przez ziarno pszenicy odmian Bogatka i Kobra Plus.

**Tabela 2.** Wpływ aktywności wody na deskryptory emisji akustycznej ziarna pszenicy odmiany Bogatka

Deskrytor EA	Aktywność wody				
	$a_w=0,147$	$a_w=0,320$	$a_w=0,450$	$a_w=0,610$	$a_w=0,731$
Średnia energia zdarzenia EA, mV	1866a	1936a	1547a	1389a	839b
Liczba zdarzeń EA, 1/s	1110a	531b	223c	76d	26e
Amplituda, V	540a	548a	456a	410a	267b
Czas trwania impulsu, $\mu$ s	102a	103a	101a	100a	90a
Całkowita energia EA, j.u	5602a	3416	1646c	691d	230e
Współczynnik nachylenia widma $\beta$	0,287ab	0,315a	0,183c	0,116c	0,091d

Wartości średnie oznaczone tą samą małą literą (w wierszach) nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$

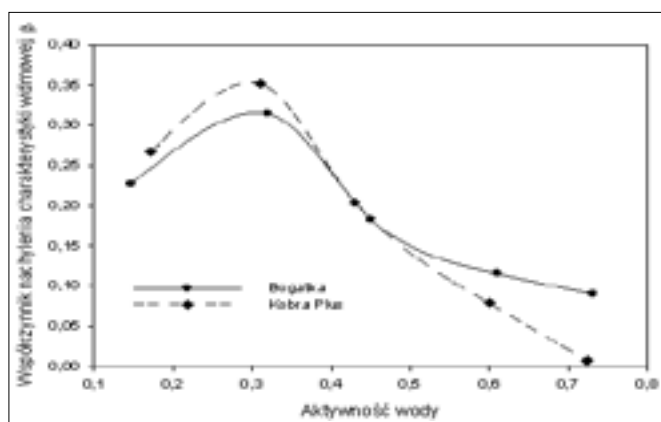
**Tabela 3.** Wpływ aktywności wody na deskryptory emisji akustycznej ziarna pszenicy odmiany Kobra Plus

Deskrytor EA	Aktywność wody				
	$a_w=0,172$	$a_w=0,311$	$a_w=0,430$	$a_w=0,600$	$a_w=0,724$
Średnia energia zdarzenia EA, mV	1904a	1960a	1582a	1340ab	1058b
Liczba zdarzeń EA, 1/s	738a	379b	229c	51d	17e
Amplituda, V	542a	538a	469a	408ab	325b
Czas trwania impulsu, $\mu$ s	103a	104a	101a	99a	101a
Całkowita energia EA, j.u	5217a	3150b	1825c	513d	176e
Współczynnik nachylenia widma $\beta$	0,267a	0,352b	0,204c	0,079d	0,007e

Wartości średnie oznaczone tą samą małą literą (w wierszach) nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$

Całkowita energia dźwięku spadała od wartości średniej 5400 j.u. uzyskanej dla ziarna o najniższej aktywności wody, do średnio 200 j.u. dla ziarna nawilżonego do maksymalnego poziomu (aktywność wody 0,73).

Do opisu zmian charakteru emisji akustycznej pod wpływem wzrostu zawartości wody służy bezwymiarowy współczynnik nachylenia widma  $\beta$ . W badanym ziarnie pszenicy, wartości tego wskaźnika spadały wraz ze wzrostem aktywności wody, przy czym zmiany te miały charakter nieliniowy (rys. 3).

**Rys. 3.** Wpływ aktywności wody na współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej  $\beta$  ziarna pszenicy odmian Bogatka i Kobra Plus.

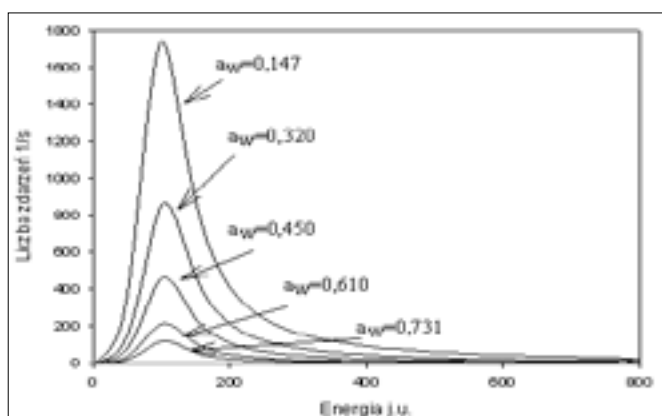
W ziarnie obu odmian pszenicy maksimum wartości współczynnika nachylenia widma  $\beta$  obserwowano przy aktywności wody wynoszącej ok. 0,320. Zmiany wartości współczynnika nachylenia widma  $\beta$  ze wzrostem zawartości wody wynikają z różnego sposobu propagacji (a więc również stopnia tłumienia) fal o różnej długości. W badanym materiale

woda stwarzała lepsze warunki dla propagacji dźwięków o częstotliwościach niskich. Dźwięki o wysokich częstotliwościach były w materiale nawilżonym tłumione. Efekt tłumienia dźwięków wysokich pod wpływem sorpcji wody przez materiał odnotowano w płatkach kukurydzianych [5, 19] i w krakersach [15]. W płatkach owsianych, płatkach z otrąb pszennych i pieczywie chrupkim współczynnik  $\beta$  nieliniowo wzrastał ze wzrostem aktywności wody [5, 7, 19].

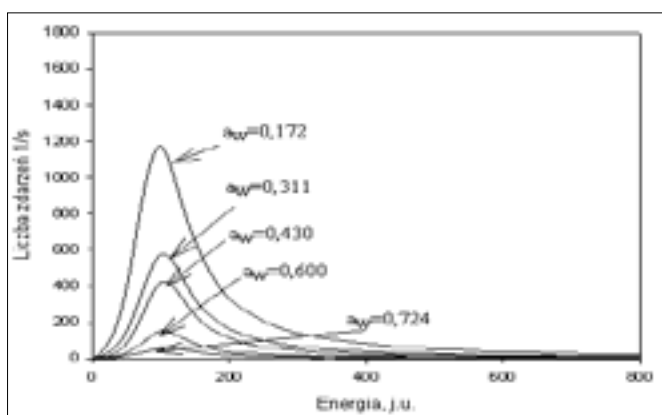
Wartości średnie oznaczone tą samą małą literą (w wierszach) nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$ .

Liczba zdarzeń emisji akustycznej zmieniała się ze wzrostem aktywności wody od 1110 do 26 1/s dla ziarna pszenicy odmiany Bogatka i od 738 do 17 1/s dla ziarna pszenicy odmiany Kobra Plus (tab. 2, 3).

Spadek liczby zdarzeń EA ze wzrostem aktywności wody stwierdzono w wielu suchych produktach pochodzenia zbożowego (krakersy, płatki kukurydziane, pszenne, owsiane, pieczywo chrupkie) [5, 7, 15]. Łysiak i Laskowski [11, 12] odnotowali zwiększanie się udziału odkształceń trwałych i jednoczesny spadek udziału odkształceń sprężystych ze wzrostem wilgotności ziarna. Woda umożliwia relaksację naprężeń w materiale, a przez to ogranicza możliwość wystąpienia kruchego pęknięcia pod działaniem siły, która jest źródłem fal dźwiękowych. W przypadku odmiany Bogatka amplituda rejestrowanych dźwięków nie zmieniała się do aktywności wody ok. 0,610, a następnie statystycznie istotnie malała. Podobne zmiany obserwowano również w odniesieniu do średniej energii pojedynczego zdarzenia EA. Czas trwania impulsu EA nie zmieniał się w zakresie badanych aktywności wody. Rozkłady ilości zdarzeń wykrytych w całym zarejestrowanym sygnale EA w zależności od ich energii przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

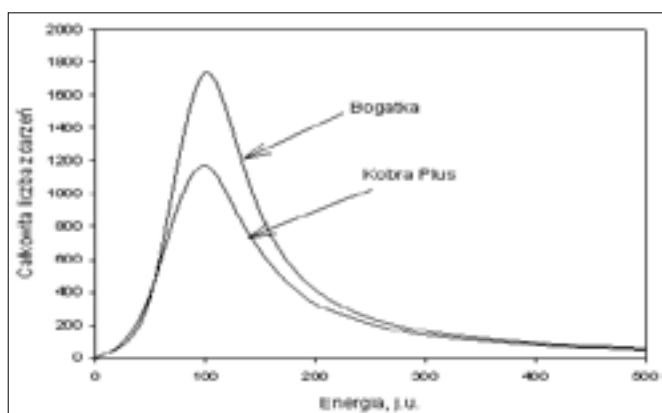


Rys. 4. Wpływ aktywności wody na rozkład energii zdarzeń akustycznych ziarna pszenicy odmiany Bogatka.



Rys. 5. Wpływ aktywności wody na rozkład energii zdarzeń akustycznych ziarna pszenicy odmiany Kobra Plus.

Energia wyrażona w jednostkach umownych była w tym wypadku wyznaczana w czasie równym czasowi trwania impulsu [17]. Ziarno obu badanych odmian pszenicy cechowało się występowaniem maksimum ilości zdarzeń przy energii równej ok. 100 j.u., wartość ta nie zmieniała się ze wzrostem aktywności wody w ziarnie. W przypadku ziarna pszenicy odmiany Bogatka całkowita liczba zdarzeń o energii dominującej w emisji akustycznej (100 j.u.) była o kilkanaście procent wyższa. Dodatkowo krzywe rozkładu energii dźwięku ziarna tej odmiany pszenicy były przesunięte w stronę wyższych energii (rys. 6).



Rys. 6. Wpływ odmiany na całkowitą liczbę zdarzeń akustycznych ziarna pszenicy odmian Bogatka i Kobra Plus.

Wzrost aktywności wody w badanym ziarnie powodował stopniowe zmniejszanie się ilości zdarzeń EA, jednak energia przy której odnotowano najwięcej zdarzeń nie zmieniała się

ze wzrostem aktywności wody.

## PODSUMOWANIE

Aktywność wody w ziarnie badanych odmian pszenicy miała statystycznie istotny wpływ na intensywność i charakter emisji akustycznej towarzyszącej zgniataniu ziarna. Charakterystyki widmowe ziarna, niezależnie od aktywności wody, cechowały się występowaniem maksimum energii w pasmach o częstotliwościach 2-3, 5-7 i 11-13 kHz. Wzrost aktywności wody w ziarnie powodował liniowy spadek energii i liczby zdarzeń emisji akustycznej, a współczynnik nachylenia charakterystyki widmowej  $\beta$  początkowo wzrastał (do aktywności wody 0,320), a następnie spadał. Wykazane zależności pomiędzy aktywnością wody a cechami akustycznymi ziarna pszenicy pozwalają stwierdzić, że metody akustyczne mogą być przydatne do oceny wilgotności ziarna zbóż.

## LITERATURA

- [1] FRĄCZEK J., KACZOROWSKI J., ŚLIPEK Z., HORABIK J., MOLENDĄ M. 2003. *Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych*. Monografie, Acta agrophysica, 92.
- [2] GAŚIOROWSKI H. (RED.) 2004. *Pszenica, Chemia i Technologia*. Poznań, PWRiL.
- [3] GAŚIOROWSKI H., KOŁODZIEJCZYK P., OBUCHOWSKI W. 1999. *Twardość ziarna pszenicy*. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 43 (9), 6-8.
- [4] GEODECKI M., GRUNDAS S. 1998. *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, 2, 25-26.
- [5] 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.
- [6] GONDEK E., JAKUBCZYK E., CACAK-PIETRZAK G. 2008. *Właściwości akustyczne wybranych odmian pszenicy ozimej*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 53-56.
- [7] GONDEK E., JAKUBCZYK E., MANIEWSKI M. 2009. *Wpływ aktywności wody na właściwości akustyczne płatków owsianych*. Acta Agrophysica, 13 (1), 77-87.
- [8] GONDEK E., JAKUBCZYK E., SULEK A., CACAK-PIETRZAK G. 2009. *Wpływ nawożenia azotem na emisję akustyczną ziarna wybranych odmian pszenicy jarej*. Acta Agrophysica, Vol. 14/2, 323-334.
- [9] JAKUBCZYK T., HABER T. (RED.) 1983. *Analiza zbóż i przetworów zbożowych*. Warszawa, Wyd. SGGW-AR.
- [10] LASKOWSKI J., ZDYBEL A. 2003. *Wpływ wilgotności oraz poziomu nawożenia azotowego na właściwości wytrzymałościowe ziarna żyta odmiany Amilo*. Acta Agrophysica, 2 (4), 803-814.
- [11] ŁYSIAK G., LASKOWSKI J. 2006. *Wpływ wilgotności na odporność na pękanie ziarna pszenicy odmiany Kobra*. Inżynieria Rolnicza, 12, 313-319.
- [12] ŁYSIAK G., LASKOWSKI J. 2007. *Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na odkształcenia podczas ściskania*. Inżynieria Rolnicza, 5 (93), 279-284.

- [13] MAŁECKI I., OPILSKI A. 1994. *Charakterystyka i klasyfikacja sygnałów EA*. W: Emisja Akustyczna. Źródła. Metody. Zastosowania. (red. MAŁECKI I., RANACHOWSKI J.), Wyd. Biuro Pascal, Warszawa, 19-35.
- [14] MARZEC A., BOROWIEC M., LEWICKI P.P. 2005. *Badanie tekstury pieczywa chrupkiego wasa metodą emisji akustycznej*. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. Supl., 4 (45), 75-84.
- [15] MARZEC A., LEWICKI P.P., JAKUBCZYK E. 2006. *Badanie jakości krakersów metodą emisji akustycznej*. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. Supl., 46 (1), 67-72.
- [16] MARZEC A., JAKUBCZYK E., CACAK-PIETRZAK G. 2008. *Próba zastosowania metody emisji akustycznej do badania wybranych odmian pszenicy jarej i ozimej*. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 4 (59), 161-167.
- [17] RANACHOWSKI Z. 2008. *Emisja akustyczna w badaniach żywności*. W: Jakość i bezpieczeństwo żywności. (red. WITROWA-IAJCHERT D., MARZEC A.) Wyd. SGGW, Warszawa, 135-160.
- [18] RANACHOWSKI Z. 2009. *Opis oprogramowania do rejestracji i analizy sygnałów ea generowanych w trakcie badania próbek żywności*. (Dostępne W KIZiOP).
- [19] 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.
- [20] SZOT B., STĘPNIEWSKI A. 1991. *Wytrzymałość ziarna wybranych zbóż na obciążenie statyczne*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 389, 111-118.
- [21] WITOS F. 1994. *Część I – pojęcia podstawowe. Fale sprężyste emisji akustycznej*. W: Emisja Akustyczna. Źródła. Metody. Zastosowania. (red. MAŁECKI I., RANACHOWSKI J.), Wyd. Biuro Pascal, Warszawa, 35-54.

## THE INFLUENCE OF WATER ACTIVITY ON ACOUSTIC DESCRIPTORS OF WHEAT GRAIN MEASURED BY CONTACT METHOD

### SUMMARY

*The aim of this work was to analyze the influence of water activity on acoustic emission of wheat grain. Sound generated during the uniaxial compression single grains v. Bogatka and Kobra Plus was registered and analyzed in the range of 0.1 do 18 kHz. Investigated grains were humidified in desiccators. It was shown that water activity influenced the of obtained acoustic descriptors. Increasing of water activity decreased the number of acoustic events, and total acoustic energy, changes of power partition slope were nonlinear.*