

ANALIZA WYRÓŻNIKÓW MECHANICZNYCH I AKUSTYCZNYCH W TEŚCIE ZGINANIA-ŁAMANIA EKSTRUDOWANEGO PIECZYWA ŻYTNIEGO

Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie właściwości mechanicznych i akustycznych pieczywa ekstrudowanego w teście zginania-łamania. Podczas odkształcania pieczywa rejestrowano dźwięk generowany przez pękający materiał, przy wykorzystaniu systemu detektora obwiedni AED z mikrofonem (metoda bezkontaktowa). Sygnał akustyczny generowany podczas zginania-łamania rejestrowano również metodą kontaktową z wykorzystaniem akcelerometru piezoelektrycznego. Zróżnicowane parametry ekstruzji wpływały na wartość wyróżników mechanicznych i akustycznych bez względu na rodzaj zastosowanej metody pomiaru sygnału akustycznego. Wyniki testu zginania-łamania wykazały, że próbki pieczywa 3 wyprodukowane m.in. przy zwiększonej prędkości zasilania surowcem w procesie ekstruzji charakteryzowały się wyższą zawartością wody, wyższymi wartościami siły, pracą łamania oraz większą liczbą pików akustycznych i liczbą zdarzeń EA w porównaniu do pozostałych badanych próbek pieczywa. Wyniki te mogą wskazywać na większą twardość i chrupkość ekstrudowanego pieczywa 3.

Słowa kluczowe: ekstruzja, tekstura, pieczywo chrupkie, właściwości akustyczne

WSTĘP

Ekstruzja jest jedną z bardziej nowoczesnych i uniwersalnych technologii stosowanych w przemyśle spożywczym, charakteryzującą się wysoką wydajnością i niskimi kosztami jednostkowymi. Za pomocą ekstruzji możliwe jest uzyskanie produktów spożywczych o różnej barwie, kształcie, teksturze oraz zapachu [Mościcki 1999, Saravacos i Maroulis 2011]. Technologia ta znalazła szerokie zastosowanie w produkcji płatków śniadaniowych, chrupek i przekąsek zbożowych, odżywek dla dzieci, pelletów, karmy

dla zwierząt domowych, pieczywa chrupkiego czy gum do żucia [Mościcki i in. 2007]. Ekstruzja surowców pochodzenia roślinnego polega na termoplastycznym wytłaczaniu materiału sypkiego pod ciśnieniem i w wysokiej temperaturze. Określony kształt produktu formowany jest poprzez przeciskanie materiału przez otwór w matrycy. Przesuw surowca jest możliwy dzięki pracy ślimaka lub ślimaków umieszczonych w obudowie ekstrudera [Mościcki i in. 2007, Saravacos i Maroulis 2011].

O tym czy nowy ekstrudowany produkt zyska uznanie wśród konsumentów decydują w głównej mierze jego cechy teksturalne, przy czym cechy szczególnie pożądane to kruchość i chrupkość [Anton i Luciano 2007]. Wielu autorów podkreśla, że jakość ekstrudatów determinowana jest m.in. parametrami ekstruzji, takimi jak temperatura, ciśnienie wytłaczania, prędkość zasilania surowcem czy prędkość obrotowa ślimaka [Ryu i Walker 1995, Ding i in. 2006]. Struktura produktów ekstrudowanych i ich właściwości funkcjonalne mogą być również kształtowane poprzez wprowadzenie do ekstrudera odpowiedniego surowca i regulację jego wilgotności [Mościcki 1999, Janssen i in. 2002].

Teksturę produktów ekstrudowanych badano, stosując różne techniki instrumentalne. Wyróżniki teksturalne jakie określono, były istotnie skorelowane z atrybutami sensorycznymi, takimi jak kruchość i twardość. Wśród instrumentalnych technik badania tekstury na wyróżnienie zasługuje m.in. test zginania-łamania, często stosowany do oceny tekstury produktów kruchych/chrupkich [Robin i in. 2012].

W ostatnich latach prowadzono wiele eksperymentów zmierzających do opracowania obiektywnych instrumentalnych metod badania tekstury żywności. Badając różne surowce i produkty spożywcze stwierdzono, że połączenie technik akustycznych i testów mechanicznych pozwala na uzyskanie pełniejszej informacji o kruchości produktów niż stosowanie tylko jednej z tych metod. Rodzaj i intensywność dźwięku emitowanego przez odkształcaną żywność są ściśle związane z jego strukturą i teksturą [Saeleaw i Schleining 2011]. Właściwości akustyczne żywności badano, stosując technikę emisji akustycznej [Marzec i in. 2007, Gondek i in. 2009, Zdunek i in. 2011] lub metodę, w której dźwięk rejestrowano przez mikrofon [Chen i in. 2005, Varela i in. 2008, Arimi i in. 2010]. Niewiele jest prac [Jakubczyk 2012, Gondek i in. 2013], w których jednocześnie zastosowano obie metody pomiaru właściwości akustycznych.

Celem pracy było określenie właściwości mechanicznych i akustycznych (za pomocą metody kontaktowej, jak i bezkontaktowej) pieczywa ekstrudowanego w teście zginania-łamania.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ekstrudowane pieczywo dostarczone przez lokalnego producenta w opakowaniach handlowych z pominięciem obrotu handlowego. Podstawowym składnikiem mieszanki poddanej ekstruzji była pełnoziarnista mąka żytnia. Z mieszanki o takim samym składzie wyprodukowano pieczywo chrupkie przy zastosowaniu zróżnicowanych parametrów pracy ekstrudera BC firmy Cletral (tab. 1).

W badanym pieczywie oznaczano aktywność wody za pomocą aparatu Higrolab (Rortronic) z dokładnością 0,001 oraz zawartość wody zgodnie z PN-EN ISO 712 przez suszenie przez 60 minut w temperaturze 130°C.

Tabela 1. Charakterystyka parametrów ekstruzji pieczywa i jego wilgotność końcowa

Table 1. Characteristics of extrusion parameters of bread and its final moisture content

Materiał Material	Parametry ekstruzji – Extrusion parameters				Kończowa wilgotność ekstrudatu Final moisture content of extrudate [%]
	temperatura w sekcji section temperature [°C]	prędkość obrotowa ślimaka screw speed [min ⁻¹]	prędkość zasilania surowcem feeding rate [min ⁻¹]	ciśnienie pressure [bar]	
Pieczywo 1 Bread 1	173	76	48	100–120	6,1
Pieczywo 2 Bread 1	172	76	50	100–120	5,7
Pieczywo 3 Bread 3	114/161	53	100	100–120	7,8
Pieczywo 4 Bread 4	90/220/166	159	26	100–120	5,8

Badanie właściwości mechanicznych i akustycznych prowadzono za pomocą teksturometru TA-HDplus (Stable Micro Systems) z głowicą pomiarową 750 kg w trakcie trójpunktowego testu zginania-łamania. Pieczywo umieszczano na klinowych podporach rozstawionych w odległości 35 mm. Test prowadzono z prędkością 1 mm·s⁻¹ do złamania próbki pieczywa. Z krzywej zginania-łamania wyznaczono siłę F [N] i odkształcenie D [mm] przy pęknięciu materiału. Na podstawie pola pod krzywą siła-przesunięcie określono pracę łamania W [N·mm].

Podczas odkształcania pieczywa rejestrowano, przy wykorzystaniu systemu detektora obwiedni AED (Stable Micro Systems) z mikrofonem o średnicy 8 mm (Brüel & Kjær), dźwięk generowany przez pękający materiał. Uzyskany sygnał wzmacniano (AED = 3) i rejestrowano za pomocą programu współpracującego z teksturometrem Texture Exponent 32 (Stable Micro Systems). Częstotliwość zbierania danych w badaniach mechanicznych i akustycznych wynosiła 500 Hz. Na podstawie zapisu sygnału akustycznego określono średni poziom ciśnienia akustycznego SPL (dB) oraz liczbę pików akustycznych L_{AED} (przy wartości progowej 10 dB).

Sygnał akustyczny generowany podczas testu zginania-łamania rejestrowano również metodą kontaktową z wykorzystaniem akcelerometru piezoelektrycznego typu 4507B (Brüel & Kjær) przymocowanego do głowicy pomiarowej teksturometru. Sygnał emisji akustycznej (EA) rejestrowano w paśmie częstotliwości 0,1–18 kHz, a następnie zapisywano z wykorzystaniem dźwiękowej karty przetwarzania analogowo-cyfrowego 9112 (Adlink Technology Inc.) z częstotliwością próbkowania 44,1 kHz. Wyznaczono następujące deskryptory emisji akustycznej (EA), przy poziomie dyskryminacji 1000 mV: liczbę zdarzeń EA – L_{EA}, amplitudę A_{EA} [μV], czas trwania zdarzenia EA – t_{EA} [μs], energię pojedynczego zdarzenia EA – E_{Z_{EA}} [mV]. Analizowano również całkowitą energię EA – E_{EA} (j.u.) oraz średnie charakterystyki widmowe emisji akustycznej badanego pieczywa.

Pomiary mechaniczne i akustyczne wykonano w 25 powtórzeniach. Wyniki poddano analizie statystycznej, przeprowadzając analizę wariancji przy rozkładzie normalnym

z wykorzystaniem testu Tukeya. Do opisu wielowymiarowych zależności między danymi zastosowano analizę składowych głównych (PCA), korzystając z programu Statistica v. 10 (Statsoft).

WYNIKI I DYSKUSJA

Próbki pieczywa chrupkiego 1, 2 i 4 uzyskane przy zastosowaniu zróżnicowanych parametrów procesu ekstruzji charakteryzowały się zbliżonym poziomem zawartości wody w zakresie od 5,7 do 6,1%, przy średnim poziomie aktywności wody wynoszącym 0,289 (tab. 2). Pieczywo 3 wyprodukowane przy zwiększonej prędkości zasilania surowcem w ekstruderze osiągało wyższą zawartość wody na poziomie 7,8%, przy aktywności wody 0,325. Autorzy dostępnych w literaturze badań dotyczących produktów ekstrudowanych podkreślają, że niewielkie zmiany parametrów procesu ekstruzji mogą istotnie modyfikować właściwości fizyczne ekstrudatów, m.in. ich zawartość wody [Wolf 2010, Gondek i in. 2013]. Wilgotność produktów ekstrudowanych może być czynnikiem istotnie determinującym ich właściwości mechaniczne.

W tabeli 2 zestawiono kilka wybranych parametrów charakteryzujących właściwości mechaniczne pieczywa chrupkiego wyznaczone podczas trójpunktowego testu zginania-łamania. Najwyższą wartością siły przy odkształceniu materiału do jego pęknięcia charakteryzowało się pieczywo 3. Wartość tej siły jest wyznacznikiem twardości odkształcanego materiału. Wśród badanych próbek najmniej twarde były próbki pieczywa chrupkiego 1 i 2. Większość z badanych ekstrudatów wykazywała zbliżoną wytrzymałość na odkształcenie, z wyjątkiem pieczywa 4, które pękało przy większej o 30% deformacji materiału. Takie zachowanie badanego pieczywa może wskazywać na mniejszą jego kruchość, gdyż materiały kruche podczas gryzienia szybko pękają przy stosunkowo małym odkształceniu.

Pole pod krzywą odkształcenie-siła jest wskaźnikiem wykonanej pracy związanej z deformacją materiału. Spadek siły przy pęknięciu jest wynikiem uwolnienia energii odkształcenia materiału [Vincent 1998]. Największe wartości pracy łamania, która może być wskaźnikiem energii niezbędnej do rozdrobnienia materiału zębami, obserwowano w przypadku próbek pieczywa 3 i 4.

W czasie testu zginania-łamania rejestrowano za pomocą mikrofonu i detektora obwiedni AED dźwięk generowany przez odkształcane próbki pieczywa. Na podstawie uzyskanego sygnału wyznaczono charakterystyczne wyróżniki akustyczne (tab. 2). Podczas odkształcania materiału w przypadku pieczywa 3 rejestrowano największą liczbę pików akustycznych L_{AED} . Dogan i Kokini [2007] oraz Saeleaw i inni [2012] stwierdzili, że liczba pików akustycznych może być dobrym wyznacznikiem chrupkości próbki – im więcej jest pików, tym materiał jest bardziej chrupki. Próbki pieczywa ekstrudowanego 1, 2 i 4 charakteryzowały się zatem istotnie mniejszą chrupkością niż próbka 3. Nie obserwowano istotnej statystycznie różnicy w średnim poziomie ciśnienia akustycznego.

Metodą kontaktową poprzez czujnik piezoelektryczny rejestrowano wibracje emitowane przez odkształcane próbki pieczywa. W tabeli 2 zamieszczono szereg deskryp-

Tabela 2. Charakterystyka parametrów mechanicznych i akustycznych pieczywa chrupkiego
 Table 2. Characteristics of mechanical and acoustic parameters of crisp bread

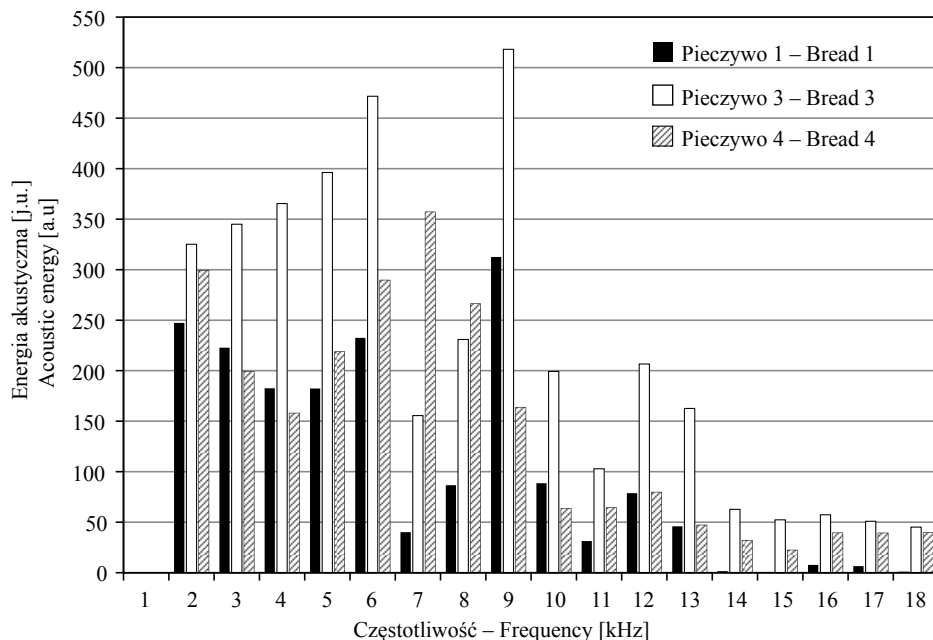
Parametr Parameter	Pieczywo 1 Bread 1	Pieczywo 2 Bread 2	Pieczywo 3 Bread 3	Pieczywo 4 Bread 4
Siła przy pęknięciu Force at fracture, F [N]	20,5 ±2,8 ^a	13,9 ±4,0 ^a	60,4 ±7,9 ^b	41,5 ±6,1 ^c
Odształcenie przy pęknięciu Strain at fracture, D [mm]	1,4 ±0,2 ^a	1,5 ±0,3 ^a	1,4 ±0,2 ^a	2,1 ±0,3 ^b
Praca łamania Breaking work, W [N·mm]	12,4 ±3,1 ^a	8,1 ±2,6 ^a	32,1 ±9,1 ^b	30,7 ±9,1 ^b
Liczba pików akustycznych Number of acoustic peaks, L _{AED}	59,0 ±20,2 ^a	43,5 ±12,3 ^a	72,0 ±19,0 ^b	37,2 ±18,5 ^a
Poziom ciśnienia akustycznego Sound pressure level, SPL [dB]	83,0 ±4,2 ^a	78,7 ±5,1 ^a	84,9 ±2,2 ^a	82,8 ±4,1 ^a
Liczba zdarzeń EA Number of AE events, L _{EA}	69,7 ±47,5 ^a	55,3 ±51,6 ^a	174,1 ±69,3 ^b	50,3 ±19,5 ^a
Amplituda Amplitude, A _{EA} (μV)	496,6 ±112,4 ^a	418,4 ±98,4 ^a	694,0 ±127,9 ^b	909 ±198,5 ^c
Czas trwania zdarzenia EA Duration of AE event, t _{EA} [μs]	84,1 ±4,9 ^a	81,8 ±6,0 ^a	85,0 ±3,1 ^a	97,6 ±6,8 ^b
Energia zdarzenia EA Energy of AE event, E _{zEA} [mV]	1385,5 ±387,7 ^a	1142,0 ±298,3 ^a	2150,2 ±453,2 ^b	3322,7 ±952,0 ^b
Całkowita energia EA [j.u.] Total AE energy [a.u.], E _{EA}	3122,2 ±759,8 ^a	2611,1 ±778,4 ^a	5172,4 ±1552,2 ^b	3809,4 ±1133,7 ^a

Wartości średnie oznaczone taką samą literą (poziomo) nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy $\alpha = 0,05$.

Mean values followed by the same letter (horizontally) do not differ significantly at $\alpha = 0.05$.

torów emisji akustycznej badanych materiałów. Pieczywo 3 charakteryzowało się kilkukrotnie większą liczbą zdarzeń EA w porównaniu z pozostałymi próbkami. Wyniki te potwierdzają istotnie większą chrupkość pieczywa 3, na którą wskazywały również wysokie wartości liczby pików akustycznych rejestrowane przez mikrofon (w metodzie bezkontaktowej). Wyższe wartości amplitudy, czasu trwania i energii pojedynczego zdarzenia uzyskano dla próbek pieczywa 3. Ten materiał charakteryzował się również mniejszą podatnością na odkształcenie i stosunkowo wysoką wartością siły przy pęknięciu materiału, co mogło wskazywać na jego znaczną twardość. Wyznaczono również wartość całkowitej energii emisji akustycznej. Wśród badanych ekstrudatów pieczywo 3 charakteryzowało się najwyższą wartością tego parametru, co może wskazywać na jego chrupkość.

Autorzy badający właściwości akustyczne produktów spożywczych metodą kontaktową wykazali, że materiały te miały charakterystyczne indywidualne widma emisji akustycznej [Marzec i in. 2007, Gondek i in. 2013]. Na rysunku 1 przedstawiono średnie charakterystyki widmowe emisji akustycznej uzyskane podczas testu zgina-

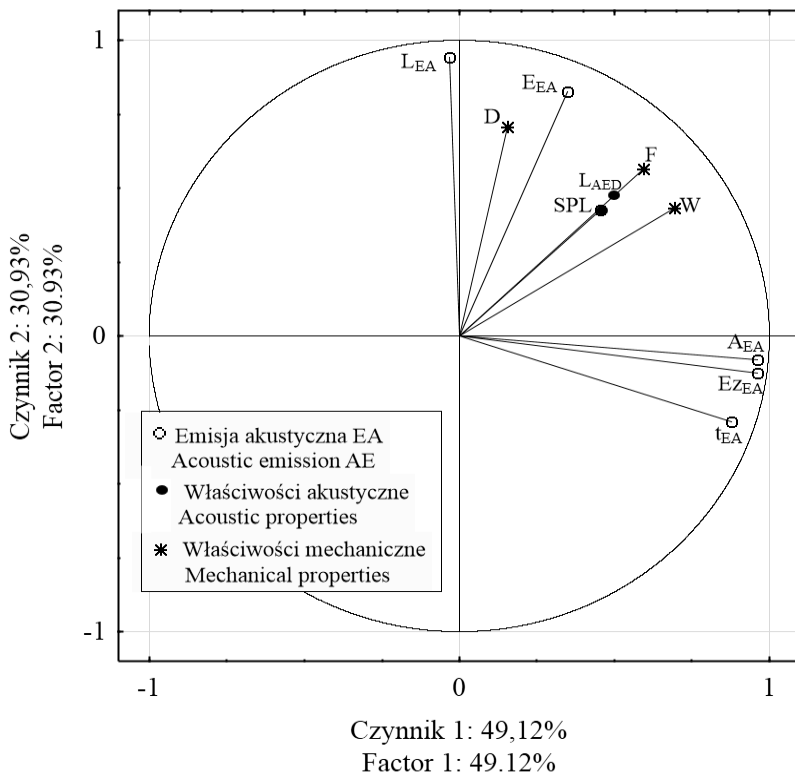


Rys. 1. Średnie charakterystyki widmowe EA pieczywa ekstrudowanego

Fig. 1. Average spectral AE characteristic of extruded bread

nia-lamania pieczywa ekstrudowanego 1, 3 i 4. Ze względu na podobną charakterystykę widm próbek 1 i 2, w pracy zamieszczono wyniki uzyskane dla pieczywa 1. Nie analizowano również zakresu częstotliwości 0–1 kHz, obejmującego energię tła akustycznego. Maksyma energii akustycznej pojawiały się przy częstotliwościach 2, 6 i 9 kHz w przypadku pieczywa 1 i 2, a dla próbki 4 przy 2 i 7 kHz. Pieczywo 3 charakteryzowało się wysokimi wartościami energii akustycznej w zakresie częstotliwości 6, 9 i 12–13 kHz. Podobne średnie charakterystyki widmowe uzyskali Gonddek i inni [2013] podczas testu penetracji pieczywa chrupkiego. Produkty kruche generują głównie wysokie dźwięki o częstotliwości powyżej 5 kHz, z kolei produkty chrupkie emitują dźwięki niskie (~2 kHz).

Wyniki analizy PCA przedstawiono w układzie dwóch pierwszych składowych głównych PC1 i PC2 (rys. 2). Składowe te opisują 80% wariacji, z kolei biorąc pod uwagę 5 składowych PCA możliwe jest opisanie 99% wariacji. Dodatkowo korelację obserwowano między wyróżnikami właściwości mechanicznych (siła F , praca łamania W) a wyróżnikami właściwości akustycznych określonych metodą bezkontaktową (liczba pików akustycznych L_{AED} , poziom ciśnienia akustycznego SPL) oraz między całkowitą energią emisji akustycznej E_{EA} (wyznaczoną za pomocą metody kontaktowej). Dodatkowo korelację wykazywały deskryptory emisji akustycznej amplituda A_{EA} , czas trwania zdarzenia t_{EA} oraz energia pojedynczego zdarzenia E_{EA} , ale nie były one skorelowane z wyróżnikami mechanicznymi.



Rys. 2. Wykres analizy składowych głównych (PCA) pieczywa
 Fig. 2. Principal component analysis (PCA) plot of bread

WNIOSKI

1. Zróżnicowane parametry ekstruzji wpływają na zawartość i aktywność wody oraz wartości wyróżników właściwości mechanicznych i akustycznych, bez względu na rodzaj zastosowanej metody pomiaru sygnału akustycznego.

2. Wyniki testu-zginania łamania wykazały, że próbki pieczywa 3 wyprodukowane m.in. przy zwiększonej prędkości zasilania surowcem w procesie ekstruzji charakteryzowały się wyższą zawartością wody, wyższymi wartościami wyróżników mechanicznych (siła, praca łamania) oraz większą liczbą pików akustycznych i liczbą zdarzeń EA w porównaniu do pozostałych badanych ekstrudatów. Wyniki te mogą wskazywać na większą twardość i chrupkość pieczywa 3.

3. Analiza składowych głównych wykazała, że spośród wyróżników emisji akustycznej jedynie całkowita energia EA (określona w metodzie kontaktowej) jest parametrem skorelowanym z wyróżnikami mechanicznymi i liczbą pików akustycznych (wyznaczonych metodą bezkontaktową). Analiza pojedynczego zdarzenia emisji akustycznej nie jest wystarczająca do opisu tekstury pieczywa chrupkiego.

LITERATURA

- Anton A.A., Luciano F.B., 2007. Instrument texture evaluation of extruded snack foods: a review. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 5 (4), 245–251.
- Arimi J.M., Duggan E., O’Sullivan M., Lyng J.G., O’Riordan E.D., 2010. Development of an acoustic measurement system for analyzing crispiness during mechanical and sensory testing. *Journal of Texture Studies* 41, 320–340.
- Chen J., Karlsson C., Povey M., 2005. Acoustic Envelope Detector for crispness assessment of biscuits. *Journal of Texture Studies* 36, 139–156.
- Ding Qing-Bo, Ainsworth P., Plunkett A., Tucker G., Marson H., 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 73, 142–148.
- Dogan H., Kokini J.L., 2007. Psychophysical makers for crispness and influence of phase behavior and structure. *Journal of Texture Studies* 38 (3), 324–354.
- Gondek E., Jakubczyk E., Herremans E., Verlinden B., Hertog M., Vandendriessche T., Verboven P., Antoniuk A., Bongaers E., Estrade P., Nicolai B., 2013. Acoustic, mechanical and structural properties of extruded crisp bread. *Journal of Cereal Science* 58, 132–139.
- Gondek E., Jakubczyk E., Maniewski M., 2009. Wpływ aktywności wody płatków owsianych na wybrane deskryptory emisji akustycznej. *Acta Agrophysica* 13 (1), 77–87.
- Jakubczyk E., 2012. Studia nad wpływem technologii przygotowania żelu agarowego i metody jego suszenia na właściwości fizyczne otrzymanego suszu. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Janssen L.P.B.M., Mościcki L., Mitrus M., 2002. Energy aspects in food extrusion-cooking. *International Agrophysics* 16 (3), 191–195.
- Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z., 2007. Influence of water activity on acoustic emission of flat bread extruded bread. *Journal of Food Engineering* 79, 410–422.
- Mościcki L., 1999. Ekstruzja i jej zastosowanie w przetwórstwie rolno-spożywczym. Cz. 2. Produkcja chleba chrupkiego. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 43 (2), 3–5.
- Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A., 2007. *Technika ekstruzji w przemyśle rolno-spożywczym*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- PN-EN ISO 712:2012 Oznaczanie wilgotności metodą suszarkową.
- Robin F., Dubois C., Pineau N., Labat E., Théoduloz C., Curti D., 2012. Process, structure and texture of extruded whole wheat. *Journal of Cereal Science* 56, 358–366.
- Ryu G.H., Walker C.E., 1995. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. *Starch/Stärke* 47 (1), 33–36.
- Saeleaw M., Dürschmid K., Schleining G., 2012. The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering* 110, 532–540.
- Saeleaw M., Schleining G., 2011. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering* 105, 387–399.
- Saravacos G.D., Maroulis Z.B., 2011. *Food Process Engineering Operations*. CRC Press, New York.
- Varela P., Salvador A., Fiszman S.M., 2008. Methodological developments in crispness assessment: Effects of cooking method on the crispness of crusted foods. *LWT – Food Science and Technology* 41, 1252–1259.
- Vincent J.F.V., 1998. The quantification of crispness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 78 (2), 162–168.
- Wolf B., 2010. Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 15, 50–54.
- Zdunek A., Cybulska J., Konopaćka D., Rutkowski K., 2011. Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector. A study on performance of calibration models. *Journal of Food Engineering* 106, 80–87.

ANALYSIS OF MECHANICAL AND ACOUSTIC ATTRIBUTES DURING THE BENDING-BREAKING TEST OF EXTRUDED RYE BREAD

Summary. The aim of this work was to determine the mechanical and acoustic properties of extruded bread during the bending-breaking test. The sound generated during deformation of breaking bread material was recorded using the acoustic envelope detector AED system with a microphone (non-contact method). The acoustic signal emitted during bending-breaking test was recorded using a contact method by a piezoelectric sensor. The different parameters of extrusion process affected the values of the mechanical and acoustic attributes regardless the applied method of the acoustic signal measurement. Results of the bending-breaking test also showed that the bread 3 produced with the higher feeding rate during extrusion characterised the higher water content and the higher values of force and breaking work as well as the higher number of acoustic peaks and AE events in comparison to other bread samples. This results may indicate the higher hardness and crunchiness of extruded rye bread 3.

Key words: extrusion, texture, acoustic properties