

GRAŻYNA GOZDECKA, BŁAŻEJ DOMOWICZ

CHARAKTERYSTYKA CECH AKUSTYCZNYCH CZIPSÓW ZIEMNIACZANYCH W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU TESTU MECHANICZNEGO

Streszczenie

W pracy badano cechy akustyczne i mechaniczne czipsów ziemniaczanych z wykorzystaniem różnych testów mechanicznych. Czipsy otrzymano z dwóch odmian ziemniaków różniących się zawartością suchej masy i skrobi. Cechy akustyczne mierzono podczas testów mechanicznych chipsów, wykonywanych maszyną wytrzymałościową Zwick/Roell z wykorzystaniem komory Kramera i noża Warner-Bratzlera. Wyznaczono wybrane cechy mechaniczne (maksymalną siłę i pracę) oraz deskryptory emisji akustycznej (amplitudę zdarzenia, energię zdarzenia, średni czas trwania zdarzenia, liczbę zdarzeń, współczynnik chrupkości). Analizowano przebiegi czasowe amplitudy sygnału EA, jakie generuje się z obciążanych czipsów. Na tej podstawie ustalono i opisano miejsca charakterystyczne powstających sygnałów akustycznych oraz różnice między cechami akustycznymi czipsów pochodzących z badanych odmian ziemniaków. Niezależnie od rodzaju przeprowadzanego testu mechanicznego deskryptorem EA różnicującym materiał badawczy była liczba zdarzeń emisji akustycznej. Stwierdzono, że badanie zmian cech mechanicznych czipsów testem przy użyciu komory Kramera jest bardziej miarodajne niż testem cięcia.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna (EA), właściwości mechaniczne, czipsy ziemniaczane

Wprowadzenie

Czipsy ziemniaczane są przekąską, której atrakcyjność determinuje przede wszystkim tekstura, a szczególnie takie cechy, jak kruchość i chrupkość [2, 3, 17]. Tekstura żywności jako cecha wieloparametryczna może być oceniana metodami sensorycznymi, umożliwiającymi uwzględnienie wszystkich jej składowych. Ten sposób pomiaru jest jednak czasochłonny w przeciwieństwie do metod instrumentalnych, które z kolei nie pozwalają na kompleksowe zobrazowanie tekstury [2, 8, 9, 12, 16]. W metodach instrumentalnych, w których równocześnie stosuje się metody emisji akustycznej,

nej (EA) i testy mechaniczne uzyskiwana jest pełniejsza informacja o badanym materiale.

Według Małeckiego i Ranachowskiego [5], „mianem emisji akustycznej określa się zjawisko generowania i rozchodzenia się fal sprężystych w różnych ośrodkach”. Wynikiem powstawania takich fal są procesy rozwoju mikropęknięć, bądź wzajemne przesunięcia elementów strukturalnych materiałów powiązanych z tarcieniem. Zdaniem Molińskiego [10], możliwość pomiaru sygnałów akustycznych oraz rejestracji deskryptorów charakteryzujących EA, takich jak: suma zliczeń, tempo zliczeń, suma zdarzeń, tempo zdarzeń, skuteczna wartość napięcia sygnału (RMS) czy energia impulsu (RMS)² pozwalają na obserwację bardzo wczesnych zmian strukturalnych w materiałach, zanim jeszcze pojawią się pierwsze zewnętrzne symptomy oznaczające ich destrukcję.

W celu wyznaczenia EA z materiałów należy poddać je obciążeniom zewnętrznym. Te z kolei wywołają naprężenia wewnętrzne, które po przekroczeniu wytrzymałości materiału, spowodują wyzwolenie energii m.in. w postaci fal sprężystych (sygnał EA). W ciałach stałych pod wpływem bodźca mechanicznego powstanie zjawiska akustycznego wiąże się przede wszystkim z formowaniem się mikro- i makropęknięć [5].

Wygenerowany sygnał akustyczny jest ważnym czynnikiem informującym o procesach zachodzących w materiale, z którego został wyemitowany. Jednak dopiero wytypowanie odpowiednich cech charakterystycznych sygnału, tzw. deskryptorów, umożliwia analizę zjawisk zawartych w powstałym paśmie akustycznym. Najczęściej stosowanymi deskryptorami emisji akustycznej są pochodne zmian w czasie w postaci sumy zliczeń i tempa zliczeń [1, 2, 5, 13, 14, 15].

Badania emisji akustycznej prowadzone podczas procesów deformacyjnych mają szczególne znaczenie w percepcji sensorycznej produktów żywnościowych charakteryzujących się kruchością i chrupkością [4, 7]. Dźwięki powstałe podczas gryzienia lub deformowania żywności suchej pod wpływem przyłożonej siły są efektem uwolnienia skumulowanej w nich energii sprężystej [11]. Żywność sucha w większości przypadków ma strukturę komórkową, w której każda jednostka budulcowa wypełniona jest powietrzem. Dźwięki powstałe w wyniku deformacji pochodzą z pęknięć ścian komórek [1]. Ich analiza pozwala na ustalenie początkowych etapów procesu niszczenia, które następują zwykle wcześniej niż osiągnięcie maksymalnego naprężenia [10, 11, 15]. Wielkość deformacji w sposób ilościowy opisują: głośność oraz energia otrzymanych dźwięków. Sposób zachowania się badanego materiału i typ procesu pęknięcia kształtują widmo spektralne emitowanego dźwięku. Krucho i chrupka żywność łatwo pęka już przy niewielkim odkształceniu, wytwarzając charakterystyczny, „ostry” dźwięk [3, 4]. EA stosowana jest m.in. w badaniach chrupkich i kruchych przekąsek, produktów zbożowych, warzyw oraz owoców [2, 3, 7, 13].

Celem pracy było określenie wybranych cech akustycznych i mechanicznych czipsów ziemniaczanych z wykorzystaniem różnych testów mechanicznych.

Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły czipsy otrzymane z dwóch odmian ziemniaków: 'VR808' (KWS Polska) i 'Legenda' (Pomorsko-Mazurska Hodowla Ziemniaka Sp. z o.o. z siedzibą w Strzekęcinie). Pierwsza z nich została wpisana do rejestru odmian na początku 2012 r. Jest to odmiana holenderska, średniowczesna, jadalna, o typie kulinarnym BC. 'Legenda' (w rejestrze odmian od 2010 r.) jest odmianą polską, także średniowczesną i jadalną, o typie kulinarnym BC-C. Obydwie odmiany ziemniaków nadają się do produkcji czipsów, jednak różnią się zawartością skrobi (VR808 – ok. 13,8 %; „Legenda” – ok. 16,1 %) i suchej masy (VR808 – 25,2 %; „Legenda” – 22,5 %). W związku z tym założono, że otrzymane z nich czipsy mogą charakteryzować się odmiennymi cechami mechanicznymi oraz akustycznymi.

W celu otrzymania prób do badań ziemniaki myto i ręcznie obierano, następnie za pomocą elektrycznej szatkownicy krojono na plasterki o grubości około 1,8 – 2,0 mm, po czym przemywano je w zimnej wodzie i osuszano powierzchniowo. Plasterki smażyono w oleju rzepakowym (w stosunku 1 : 30) o temp. 180 °C przez ok. 5 min, do uzyskania wilgotności poniżej 2 %. Czipsy odsączano z nadmiaru tłuszczu i przeznaczano bezpośrednio do badań.

Czipsy scharakteryzowano pod względem zawartości tłuszczu, który oznaczano metodą Soxhleta. Próbkę z ziemniaków odmiany 'VR808' zawierały go 30,4 %, a z odmiany 'Legenda' – 34,4 %.

Badania mechaniczno-akustyczne wykonywano na pojedynczych czipsach lub przy użyciu warstw chipsów, odpowiednio w 20 i 10 powtórzeniach. Próby obciążano w maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell z głowicą pomiarową 500 N, a rejestrację danych prowadzono w programie testXpert II. Warstwy czipsów o wysokości 3,5 cm obciążano w komorze Kramera (czipsy układano równolegle do podstawy komory), natomiast do pojedynczych czipsów używano płaskiego noża Warner Bratzler.

Podczas badania warstwy czipsów przesuw ruchomej trawersy odbywał się z prędkością 50 mm/min do momentu uzyskania 50 % początkowej wysokości materiału. W przypadku badania pojedynczego czipsa, trawersa przemieszczała się z prędkością 20 mm/min do chwili zniszczenia próbki. Wyznaczano siłę maksymalną (F_{max}) uzyskaną podczas testu oraz pracę (W), jako pole pod krzywą siła – droga.

Sygnały EA mierzono podczas przeprowadzania testów cech mechanicznych. Rejestracja EA odbywała się w całym zakresie badania z prędkością próbkowania 44,1 kHz za pomocą dźwiękowej karty przetwarzania analogowo-cyfrowego, firmy Adlink Technology Inc., typ 9112, oraz głowicy piezoelektrycznej o wzbudzeniu własnym 200 kHz, produkcji Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie.

Procesy dyslokacji oraz destrukcji badanego materiału wywołane naprężeniami wewnętrznymi rejestrowano w postaci przebiegów czasowych amplitudy sygnału EA, średniej amplitudy zdarzeń EA, średniej energii pojedynczego zdarzenia, liczby zdarzeń (za zdarzenie EA uznawano każde zdarzenie trwające co najmniej 55 μ s) i średniego czasu trwania pojedynczego zdarzenia. Obliczano również współczynnik chropkości (iloraz liczby zdarzeń i pracy wykonanej na próbce w czasie całego badania) [11].

Na podstawie uzyskanych wyników ustalono miejsca charakterystyczne powstających sygnałów akustycznych oraz różnice między cechami akustycznymi czipsów pochodzących z badanych odmian ziemniaków. Dodatkowo poprzez nałożenie na siebie przebiegów czasowych amplitudy sygnału EA oraz siły działającej na niszczonej próbce wyznaczano procent siły maksymalnej, przy której pojawiały się pierwsze sygnały EA.

Do statystycznej weryfikacji wyników zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Obliczano odchylenie standardowe i współczynnik zmienności (V). Ocenę istotności różnic między wartościami średnimi wykonano testem Tukeya przy $p < 0,05$. Obliczenia wykonano w programie Statistica 6.0.

Wyniki i dyskusja

W tab. 1. przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych i akustycznych warstw czipsów. Zarówno siła maksymalna (F_{\max}), jak i praca (W), konieczne do zniszczenia próbek do założonego poziomu, były wyższe w przypadku czipsów z ziemniaków odmiany 'Legenda'. Różnice te były statystycznie istotne ($p < 0,05$).

Materiał pochodzący z ziemniaków odmiany 'Legenda' charakteryzował się maksymalnymi amplitudami pojedynczego zdarzenia emisji akustycznej na poziomie 98,8 mV oraz energią zdarzenia o wartości 451 mV i pod tym względem nie różnił się statystycznie istotnie ($p < 0,05$) od materiału z drugiej odmiany.

W zapisie sygnałów EA wyróżniały się krótkie impulsy o czasie trwania około 88 μ s i zbliżonej amplitudzie, które następowały szybko po sobie. Odpowiadają one za formowanie charakterystycznego chrupkiego dźwięku [4, 6, 13]. Badane czipsy cechowało duże podobieństwo średnich wartości amplitudy, energii i czasu trwania pojedynczego zdarzenia. Najwyższe wartości liczbowe amplitud były wynikiem formowania się pęknięć struktury materiału pod wpływem przyłożonej siły. Zbliżone wartości amplitud oraz energii pojedynczego zdarzenia EA podlegające niewielkim odchyleniom od wartości średniej wskazują na duże podobieństwo struktury badanych prób pochodzących z obydwu odmian ziemniaka. Parametrem statystycznie istotnie różnicującym obydwie grupy materiału badawczego pod względem akustycznym była liczba zdarzeń emisji akustycznej. Średnia liczba zdarzeń emisji akustycznej w przypadku czipsów z ziemniaków odmiany 'Legenda' (1054) była przeszło dwukrotnie większa

niż czipsów ‘VR808’ (455). Podobne rezultaty uzyskały Gondek i Marzec [2], badając czipsy ziemniaczane dostępne na polskim rynku. Również one stwierdziły, że liczba zdarzeń EA różnicuje istotnie badane przez nie produkty.

Tabela 1

Cechy mechaniczne i akustyczne czipsów ziemniaczanych wyznaczone z użyciem komory Kramera.
Mechanical and acoustic properties of potato chips determined with the use of Kramer Cell.

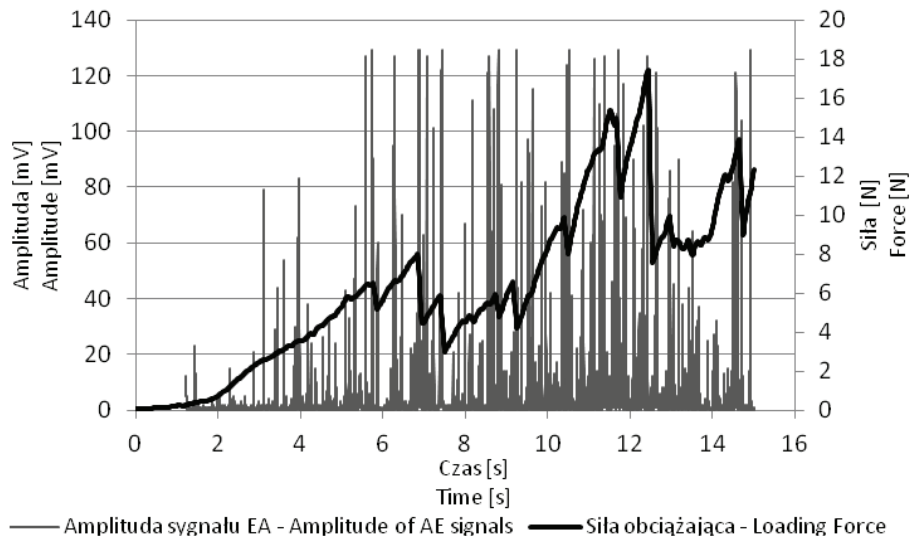
Czipsy Chips	F_{\max} [N]	W [mJ]	Amplituda zdarzenia Amplitude of event [mV]	Energia zdarzenia Energy of event [mV]	Średni czas trwania zdarzenia Mean event duration [μs]	Liczba zdarzeń EA Number of AE events	Wsp. chrupkości Crispness index
‘Legenda’	17,5 ^a ± 2,6	88,2 ^a ± 15,5	98,8 ^a ± 1,1	451,0 ^a ± 5,8	88,0 ± 0	1053,0 ^a ± 181,0	9,83 ^a ± 1,07
V [%]	14,9	17,5	1,1	1,3	0	17,2	10,90
‘VR808’	9,4 ^b ± 1,4	62,7 ^b ± 10,0	98,6 ^a ± 1,9	455,0 ^a ± 19,0	88,0 ± 0	454,0 ^b ± 105,0	6,43 ^b ± 1,12
V [%]	15,3	16,0	2,0	4,2	0	23,0	17,10

Objaśnienia: / Explanatory notes:

a, b – wartości średnie w kolumnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie przy $p < 0,05$ / mean values with the same letters in the column are not significantly different at $p < 0.05$;
V – współczynnik zmienności / coefficient of variation.

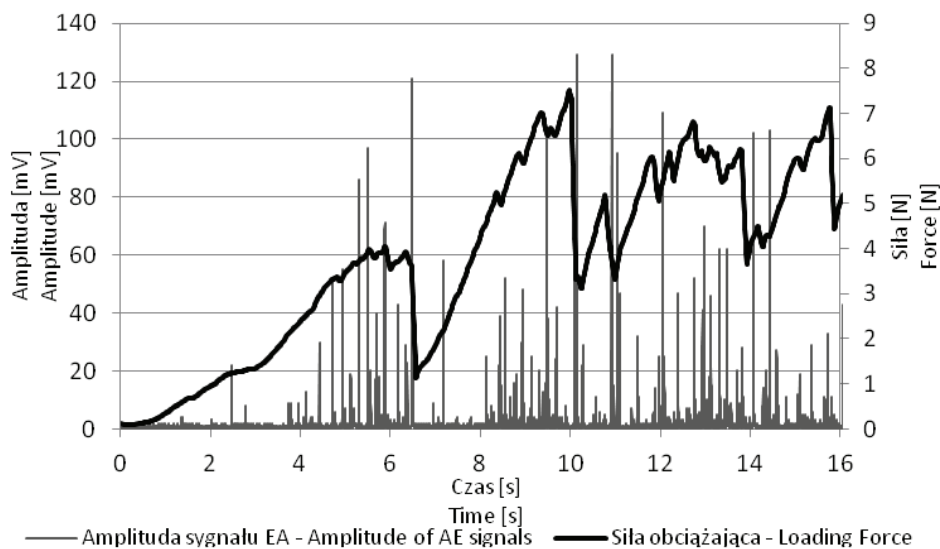
Liczba zdarzeń EA wpłynęła na wartość współczynnika chrupkości. Pomimo że jest on odwrotnie proporcjonalny do pracy (‘Legenda’ – 88,2 mJ; ‘VR808’ – 62,7 mJ), w przypadku czipsów ‘VR808’ przyjął mniejszą wartość (6,43) w porównaniu z czipsami ‘Legenda’ (9,83).

W celu odnalezienia charakterystycznych miejsc powiązania sygnału EA z siłą obciążającą badaną warstwę materiału nałożono na siebie przebiegi czasowe amplitudy EA i siły obciążającej (rys. 1 i 2). Zaobserwowano, że chwilowe spadki wartości siły obciążającej materiał pokrywają się z chwilowymi wzmocnieniami sygnału akustycznego. Spadki wartości siły spowodowane są zmianami struktury badanego materiału na skutek tworzących się pęknięć. Każdy z przedstawionych na wykresach pików stanowi zbiór zdarzeń emisji akustycznej. Dokonane obserwacje pozwoliły stwierdzić, że w przypadku czipsów z ziemniaków odmiany ‘VR808’ (rys. 2) występowało mniejsze zagęszczenie pików amplitudowych w porównaniu z czipsami ‘Legenda’ (rys. 1), co przekładało się również na mniejszą liczbę zdarzeń EA. Występowanie chwilowych



Rys. 1. Przykładowy przebieg czasowy EA i siły obciążającej w przypadku warstwy czipsów z ziemniaków odmiany 'Legenda'.

Fig. 1. Example of EA timing and loading force in the case of layer of chips from potatoes of 'Legenda' cultivar.



Rys. 2. Przykładowy przebieg czasowy EA i siły obciążającej w przypadku warstwy czipsów z ziemniaków odmiany 'VR808'.

Fig. 2. Example of AE timing and loading force in the case of layer of chips from potatoes of 'VR808' cultivar.

wzmocnień EA w miejscach, które na wykresie siły nie świadczyły o żadnych istotnych zmianach zachodzących w strukturze, mogło być wynikiem powstających mikro-pęknięć i ich propagacją w dolnych warstwach badanych prób, które miały bezpośredni kontakt z powierzchnią przekazującą drgania do sensora. Charakterystyczne „postrzępienie” wykresu siły wskazuje na niewielką odkształcalność materiału i kruchy charakter pęknięć.

W tab. 2. przedstawiono średnie wartości cech mechanicznych i akustycznych pojedynczych czipsów. Siła maksymalna i praca konieczne do całkowitego zniszczenia czipsów z obu odmian ziemniaków nie różniły się statystycznie istotnie ($p < 0,05$). Należy zwrócić uwagę, że wyniki cech mechanicznych pojedynczych czipsów charakteryzowały się znacznie większym rozrzutem od wyników uzyskanych podczas badania warstw materiału, o czym świadczy wysoka wartość zarówno odchylenia standardowego, jak i współczynnika zmienności. Pomędzy czipsami z badanych odmian ziemniaków nie stwierdzono także statystycznie istotnych różnic ($p < 0,05$) średnich wartości amplitudy zdarzenia, energii zdarzenia i współczynnika chrupkości.

Tabela 2

Cechy mechaniczne i akustyczne czipsów ziemniaczanych wyznaczone w teście cięcia.
Mechanical and acoustic properties of potato chips as determined by cut test.

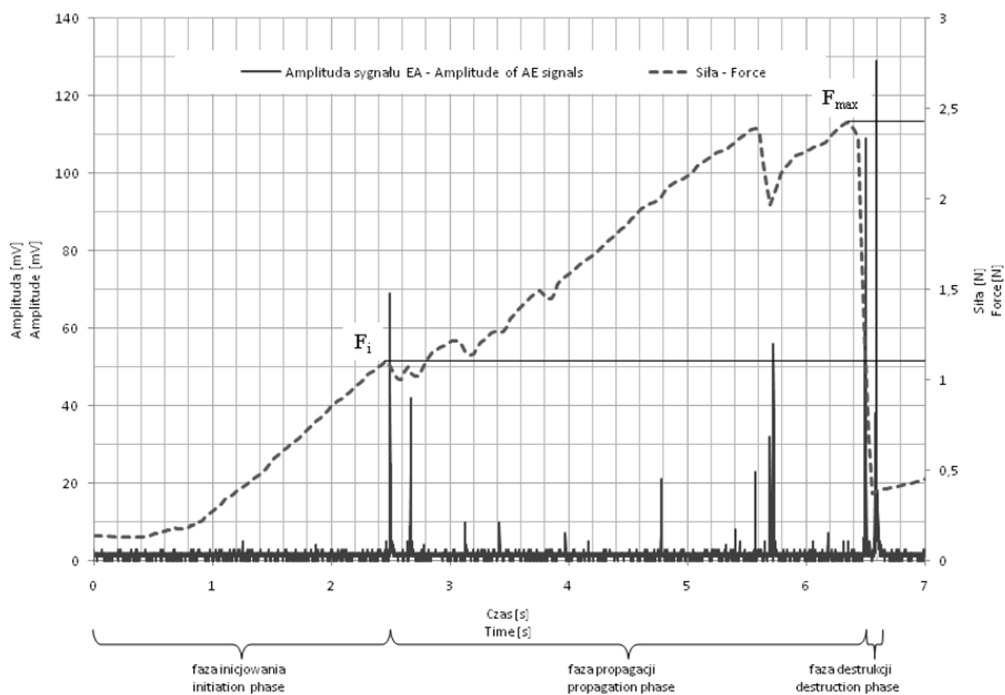
Czipsy Chips	F_{max} [N]	W [mJ]	Amplituda zdarzenia Amplitude of event [mV]	Energia zdarzenia Energy of event [mV]	Średni czas trwania zdarzenia Mean event duration [μs]	Liczba zdarzeń EA Number of AE events	Wsp. chrupkości Crispness index
‘Legenda’	$3,31^a \pm 0,79$	$2,86^a \pm 1,00$	$104,80^a \pm 6,70$	$528,00^a \pm 56,00$	$105,60^a \pm 9,80$	$35,60^a \pm 5,4$	$13,68^a \pm 4,90$
V [%]	23,80	35,10	6,40	10,60	9,30	15,20	36,30
‘VR808’	$3,86^a \pm 0,60$	$2,58^a \pm 1,44$	$98,40^a \pm 9,34$	$450,00^a \pm 53,00$	$88,00^b \pm 0$	$19,00^b \pm 3,7$	$9,14^a \pm 4,90$
V [%]	15,60	55,70	9,50	11,80	0	19,30	53,60

Oznaczenia jak pod tab. 1 / Explanation of symbols as in Tab. 1.

Deskrytorem różnicującym statystycznie istotnie ($p < 0,05$) materiał w badaniu pojedynczego czipsa okazała się, tak jak w badaniu warstwy czipsów, liczba zdarzeń emisji akustycznej, która wyniosła średnio w przypadku prób z ziemniaków odmiany ‘Legenda’ 35,6 a z ‘VR808’ – 19,0.

Drugim deskrytorem, który statystycznie istotnie różnicował próbki, był średni czas trwania pojedynczego zdarzenia EA. W przypadku czipsów z ziemniaków odmia-

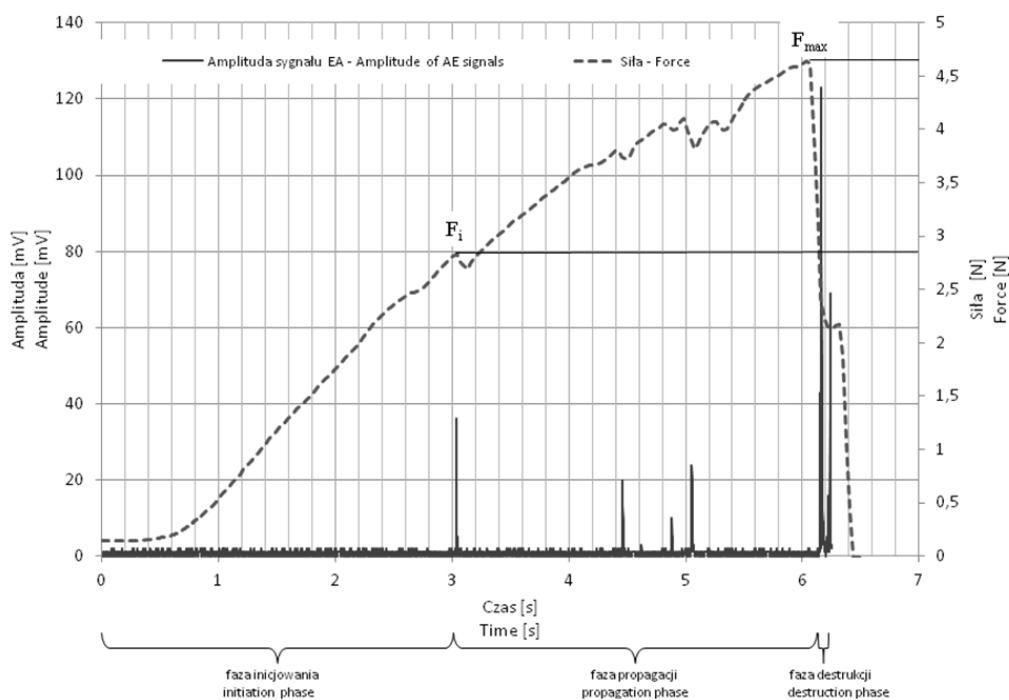
ny ‘Legenda’ wyniósł ok. 106 μs , a ‘VR808’ – 88 μs . Podczas badania warstwy czipsów takich różnic nie stwierdzono. Według Ranachowskiego [13], dźwięki kruche i chrupkie można rozróżnić na podstawie czasu ich trwania. Dźwięk kruchy jest krótki, natomiast dźwięk chrupki dłuższy. Dźwięki odpowiedzialne za odczuwanie chrupkości mają długość około 88 μs . Na podstawie zarejestrowanego czasu trwania dźwięku chrupkiego można uznać, że czipsy z ziemniaków odmiany ‘Legenda’ cechowały się większą chrupkością niż czipsy ‘VR808’, ponieważ średni czas trwania pojedynczego zdarzenia był dla tych pierwszych dłuższy. Potwierdzeniem tego spostrzeżenia są wyniki badania warstw, w których czipsy z ziemniaków odmiany ‘Legenda’ charakteryzowały się istotnie większym współczynnikiem chrupkości niż czipsy ‘VR808’ (tab. 1).



Rys. 3. Przykładowy przebieg czasowy amplitudy sygnału EA i siły działającej na czipsy z ziemniaków odmiany „Legenda” z zaznaczoną siłą maksymalną (F_{max}) i siłą, przy której pojawiają się pierwsze zdarzenia EA (F_i) oraz charakterystycznymi etapami destrukcji czipsów.

Fig. 3. Example of AE signal amplitude timing and force acting on chips from potatoes of ‘Legenda’ cultivar with marked maximum force (F_{max}) and force, at which first EA events appear (F_i), as well as with characteristic phases of chips destruction.

Na przebiegach amplitudowo-czasowych sygnału EA (rys. 3 i 4) można zauważyć trzy fazy związane ze zmianami zachodzącymi w strukturze czipsa pod wpływem przyłożonej siły. Pierwsza faza to inicjowanie sygnału EA związane z zapoczątkowaniem przemian na skutek lokalnych pęknięć lub mikropęknięć. Faza propagacji jest kolejnym etapem, w którym powstałe defekty struktury ulegają rozprzestrzenianiu w strukturze materiału. Faza destrukcji związana jest ze zniszczeniem próbki na skutek jej przełamania. Podobny przebieg rozwoju destrukcji obserwuje się w badaniach innych materiałów kruchych [15].



Rys. 4. Przykładowy przebieg czasowy amplitudy sygnału EA i siły działającej na czipsy z ziemniaków odmiany 'VR808' z zaznaczoną siłą maksymalną (F_{max}) i siłą, przy której pojawiają się pierwsze zdarzenia EA (F_i) oraz charakterystycznymi etapami destrukcji czipsów.

Fig. 4. Example of AE signal amplitude timing and force acting on chips made from potatoes of 'VR808' cultivar with marked maximum force (F_{max}) and force, at which first EA events appear (F_i) and with characteristic phases of chips destruction.

Na omawianych wykresach (rys. 3 i 4) można zaobserwować różnice w przebiegach amplitudowo-czasowych sygnału EA badanych czipsów. Czipsy z ziemniaków odmiany 'Legenda' cechowały się większą liczbą zdarzeń emisji akustycznej w fazie propagacji. Na tej podstawie można uznać, że struktura czipsów z ziemniaków odmia-

ny 'Legenda' podlegała większej liczbie zmian pod wpływem przyłożonej siły niż miało to miejsce w przypadku czipsów 'VR808'.

Nałożenie na siebie przebiegów czasowych siły i amplitudy zdarzeń emisji akustycznej (rys. 3 i 4) pozwoliło na wyznaczenie siły inicjującej (F_i), przy której występują pierwsze sygnały EA w postaci wyraźnych pików. Na podstawie otrzymanych wyników jej wartość wyrażono jako procent siły maksymalnej (F_{max}).

Pierwsze sygnały procesu destrukcji kończące fazę inicjowania i zarazem zapoczątkowujące fazę propagacji pojawiały się przy wartości siły obciążającej wynoszącej średnio 46 % F_{max} w przypadku czipsów z ziemniaków odmiany 'Legenda', natomiast w przypadku 'VR808' – wartość F_i wynosiła około 57 % F_{max} . Wyznaczenie wartości F_i jako wskaźnika charakteryzującego i różnicującego badany materiał kruchy poszerzyłoby zasób informacji uzyskiwanych w badaniach łączących testy mechaniczne z rejestracją emisji akustycznej, jednak jego przydatność należałoby poprzeć szerszymi badaniami.

Wnioski

1. Wartości analizowanych cech mechanicznych czipsów z ziemniaków odmian 'Legenda' i 'VR808' różniły się istotnie tylko w przypadku testów przeprowadzonych w komorze Kramera.
2. Badanie zmian właściwości mechanicznych czipsów testem z użyciem komory Kramera jest bardziej miarodajne niż testem cięcia, co potwierdzają wartości współczynników zmienności.
3. Niezależnie od rodzaju przeprowadzanego testu mechanicznego, deskryptorem emisji akustycznej istotnie różnicującym czipsy pochodzące z obydwu odmian ziemniaków była liczba zdarzeń EA.
4. Zastosowanie testu cięcia ułatwia analizę przebiegu czasowego emitowanego sygnału EA i wyróżnienie jego trzech faz: inicjowania, propagacji i destrukcji.

Literatura

- [1] Duizer L.: A review of acoustic research for studying the sensory perception of crispy, crunchy and crackly textures. Trends Food Sci. Technol., 2001, **12**, 17-24.
- [2] Gondek E., Marzec A.: Właściwości akustyczne i mechaniczne chipsów ziemniaczanych. Inż. Rolnicza, 2009, **2 (111)**, 43-48.
- [3] Jakubczyk E., Marzec A.: Właściwości mechaniczne chrupkich/kruchych ciastek. Inż. Rolnicza, 2006, **3**, 31-38.
- [4] Luyten H., Plijter J.J., van Vliet T.: Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods. A literature review with discussion. J. Texture Stud., 2004, **35**, 445-492.
- [5] Małecki I., Ranachowski Z.: Emisja akustyczna. Źródła, metody, zastosowania. Wyd. PASCAL, Warszawa 1994.
- [6] Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z.: Emisja akustyczna a jakość suchych produktów zbożowych. Przem. Spoż., 2003, **9**, 40-42.

- [7] Marzec A., Lewicki P.P., Ranachowski Z.: Influence of water activity on acoustic properties of flat extruded bread. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 410-422.
- [8] Marzec A.: Tekstura żywności. Część I. Wybrane metody instrumentalne. *Przem. Spoż.*, 2008, **2**, 12-15.
- [9] Marzec A.: Tekstura żywności. *Przem. Spoż.*, 2007, **5**, 6-10.
- [10] Moliński W.: Detekcja powstawania i rozwoju pęknięć w drewnie przy użyciu metody emisji akustycznej (EA). *Rozpr. naukowe, zeszyt 288, Roczniki AR w Poznaniu*, Poznań 1998.
- [11] Pałacha Z., Sitkiewicz I.: Właściwości fizyczne żywności. WNT, Warszawa 2011.
- [12] Panasiewicz M.: Nowoczesne metody badań i oceny cech teksturalnych surowców i wyrobów mięsnych. *Rzeźnik Polski*, 2010, **1**, 22-25.
- [13] Ranachowski Z.: Emisja akustyczna w badaniach żywności. *Mat. 57. Otwartego Seminarium z Akustyki*, Gliwice 2010, ss. 157-164.
- [14] Ranachowski Z.: Metody pomiaru i analizy sygnału emisji akustycznej. IPPT PAN, Warszawa 1997.
- [15] Suchorski P.: Kwantyfikacja narastania uszkodzeń struktury drewna metodą emisji akustycznej. *Mat. XI Konf. Naukowej Wydz. Technol. Drewna*, SGGW, Warszawa 1997, ss. 61-66.
- [16] Surówka K.: Tekstura żywności i metody jej badania. *Przem. Spoż.* 2002, **10**, 12-17.
- [17] Wójtowicz A., Bałtyn P.: Ocena wybranych cech jakościowych popularnych przekąsek ziemniaczanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2 (47)**, 112-123.

PROFILE OF ACOUSTIC PROPERTIES OF POTATO CHIPS DEPENDING ON MECHANICAL TEST TYPE USED

S u m m a r y

In the research study, acoustic and mechanical properties of potato chips were analysed with the use of various mechanical tests. The potato chips analyzed were produced from two potato varieties that differed in the content of dry matter and starch. The acoustic properties were measured while mechanically testing the chips in a material strength testing machine manufactured by Zwick/Roell, a Kramer Shear Cell, and a Warner-Bratzler Shear. The selected mechanical properties (maximum force and work) and the acoustic emission descriptors (amplitude of event, energy of event, mean event duration, number of AE events, and crispness index) were determined. The timing of AE signal amplitude, generated by the loaded chips, was analyzed. On this basis, there were determined and described the characteristic positions of the acoustic signals being generated and the differences between the acoustic properties of the chips originating from the potato cultivars studied. Regardless of the type of a mechanical test performed, the EA descriptor to differentiate the material analyzed was the number of acoustic emission events. It was found that the test of mechanical properties of chips with the use of a Kramer Shear Cell was more reliable than the cut test.

Key words: acoustic emission (AE), mechanical properties, potato chips 