

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Metoda korelacyjna sensorycznej i instrumentalnej oceny akustyczno-emisyjnych właściwości produktów spożywczych

STEFAN POLISZKO^{1,2}, JERZY STANGIERSKI², MACIEJ SZCZEPKA¹, GRZEGORZ MATUSIAK¹, SZYMON MURAWKA¹, IRENEUSZ MIZGALSKI¹

¹CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ COBRABID sp. z o.o.

²UNIwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Słowa kluczowe: żywność, emisja akustyczna, chrupkość, ocena instrumentalna i sensoryczna

STRESZCZENIE

W pracy przeprowadzono analizę korelacyjną wyników badań audio-sensorycznych i instrumentalnych aktywności akustycznej zbioru chrupkich produktów spożywczych pochodzenia roślinnego. Ocenę sensoryczną efektów odgryzania zrealizowano dla trzech wariantów testu percepcji: w warunkach odsluchu *naturalnego*, oraz w warunkach odsluchu *twarzą w twarz* i odsluchu *z zatkanymi uszami*, symulacyjnie prezentujących procesy przewodnictwa powietrznego i kostnego. W pomiarach instrumentalnych sygnały odgryzania rejestrowano dwoma mikrofonami: powietrznym – zlokalizowanym przy muszli usznej oraz kontaktowym – umiejscowionym na wyrostku kostnym za uchem osoby testera. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że związki korelacyjne ocen audio-sensorycznych oraz oznaczanych instrumentalnie napięć skutecznych (RMS) podlegają opisowi zgodnemu z wykładniczym prawem Stevensa z wykładnikami o różnych wartościach odnoszących się odpowiednio do zjawisk transmisji kanałem kostnym ($\alpha_b=0,30$) i kanałem powietrznym ($\alpha_a=0,60$) oraz dla sygnałów skumulowanych w zestawieniu ze zbiorem ocen sensorycznych uzyskiwanych w warunkach percepcji naturalnej, wówczas $\alpha_c=0,90$. Przy tym, sygnały emisji akustycznej towarzyszące odgryzaniu badanych produktów, przekazywane odrębnymi torami przewodnictwa powietrznego i kostnego, charakteryzuje ortogonalność zarówno w centrach rejestracji instrumentalnej, jak i w ośrodkach percepcji psychosensorycznej. W związku z powyższym, instrumentalnie oznaczane wartości napięć skutecznych sygnałów akustycznych towarzyszących odgryzaniu produktów spożywczych, przy rejestracji tych sygnałów w opisanym układzie hybrydowym, prowadzą do ocen aktywności akustycznej badanych produktów, jednoznacznie odpowiadających ocenom uzyskiwanym w testach audio-sensorycznych.

The correlation method of sensory and instrumental evaluation of acoustic – emissive properties of food products

Keywords: food, acoustic emission, crunchiness, instrumental and sensorial evaluation

ABSTRACT

The paper was on the correlative analysis of audio-sensory and instrumental acoustic activity test results which were set on crunchy foods of plant origin. The sensory evaluation was carried out for biting off the products for the three variants of the test of perception: in terms of natural listening, and face to face listening conditions, and listening with ears plugged – the simulations which were presenting processes of air and bone conduction. The instrumental measurements recorded biting off signals with the use of two types of microphones, air located one at the contact of ear and positioned one on the alveolar bone behind the ear of a testing person. As a result of this analysis, correlative assessments of audio-sensory and instrumental assessed effective voltage (RMS) are subject to the description in line with an exponential Stevens law with exponents of different values relating respectively to the transmission channel of skeletal events ($\alpha_b = 0.30$) and the air passage ($\alpha_a = 0.60$) and the signals accumulated in combination with a set of sensory perception obtained in natural conditions, the $\alpha_c = 0.90$. At the same time, the signals of acoustic emission accompanying the process of biting off products tested, passed with separate air tracks and bone conduction are characterized by orthogonality both instrumental registration centers and in centers of psychosensory perception. Accordingly, the effective voltage values of audio signals, that were accompanying the biting off the crunchy foodstuffs, determined instrumentally, along with the use of the hybrid system described above, lead to an acoustic activity evaluations of the tested products, uniquely corresponding to the evaluations obtained in the audio-sensory tests.

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych atrybutów tekstury żywności, powszechnie uwzględnianych przy sensorycznej ocenie jakości wielu produktów spożywczych, jest chrupkość [1, 2] kojarzona z efektami słuchowo-akustycznymi towarzyszącymi ich konsumpcji [3, 4]. Zakres pojęcia „chrupkość” w międzynarodowej literaturze przedmiotu nie jest jednoznacznie określany, zarówno z powodów kulturowych, jak i językowych. Pomimo ponad 30 lat prac nad tym zagadnieniem w zakresie oceny sensorycznej [5, 6] dopiero w ostatnim okresie zauważa się, zwłaszcza w piśmiennictwie anglojęzycznym [7], postęp w doprecyzowaniu określeń związanych z oceną aktywności akustycznej produktów spożywczych. Równocześnie, w wielu ośrodkach badawczych prowadzono prace nad instrumentalną charakterystyką zjawiska chrupkości różnych typów produktów spożywczych. Badania koncentrowały się zarówno na analizie mechanicznej reakcji bezpośrednio towarzyszącej rozdrabnianiu produktów [8, 9], jak i w warunkach laboratoryjnych, przy użyciu analizatorów tekstury [10, 11] oraz analizie efektów akustycz-

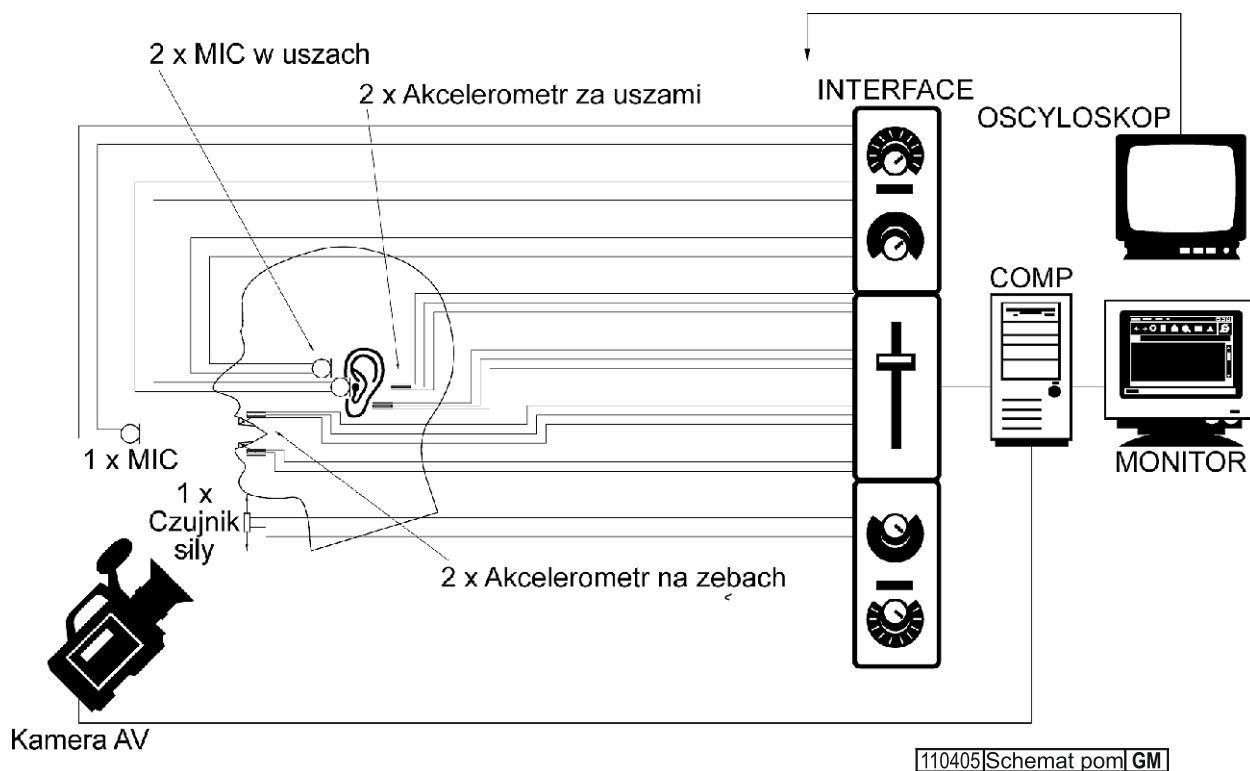
no-emisyjnych rejestrowanych z wykorzystaniem różnego typu mikrofonów i przetworników [12-18]. Podejmowano także próby korelacji wyników ocen sensorycznych badanych produktów z wynikami instrumentalnych badań mechanicznych i akustycznych, również z uwzględnieniem charakterystyk widmowych uzyskiwanych przebiegów [19-22]. Już w najwcześniejszych pracach dotyczących percepcji chrupkości produktów spożywczych [23-25] analizowano efekty uwarunkowane jednoczesną transmisją sygnałów AE do ośrodków analizy słuchowej kanałami przewodnictwa powietrznego oraz kostnego. Aktualnie dostępna technika instrumentalna pozwala znacznie poszerzyć zakres informacji dotyczącej tego obszaru badań. Wynika to zwłaszcza z możliwości zastosowania systemu hybrydowego, bardziej uniwersalnego w kontekście analiz porównawczych, niż ma to miejsce w przypadku standardowych metod korelacji parametrów akustycznych i psychoakustycznych [26]. Mając na uwadze powyższe okoliczności zdecydowano się opracować proceduralnie sprzężony system instrumentalnej i sensorycznej analizy właściwości emisyjno-akustycznych produktów spożywczych.

2. METODYKA BADAŃ

Funkcjonujący w opracowanym systemie pomiarowym podsystem analizy instrumentalnej stanowiło specjalnie przygotowane stanowisko badawcze oparte o osobę testera wyposażoną w czujniki, z których wielokanałowo i synchronicznie były zbierane odpowiednie ciągi sygnałów AE towarzyszących konsumpcji testowanych produktów. Schemat stanowiska przedstawiono na Rysunku 1. W przeprowadzonej serii pomiarów ograniczono się do analizy zapisu sygnałów pochodzących od mikrofonów pojemnościowo-elektretowych umieszczonych przy muszlach usznych, oraz pochodzących od akcelerometrów dociskanych do kostnych wyrostków sutkowatych czaszki za uszami testera. Zbierane w ten sposób ciągi sygnałów napięciowych, po przetworzeniu w sygnały cyfrowe przy częstotliwości próbkowania 96 kHz, zapisywano na dysku HDD, utrzymując w całej serii pomiarowej niezmiennie parametry torów transmisji elektronicznej, a następnie poddawano analizie za pomocą systemu LabVIEW. Przy użyciu odpowiednich procedur operacyjnych przetwarzano i analizowano odrębnie przebiegi czasowe sygnałów kanału powietrznego (mikrofony) oraz kostnego (akcelerometry), a także sygnały wypadkowe ich superpozycji. Na etapie wstępnym

prac skoncentrowano się głównie na analizie korelacyjnej poziomu tych sygnałów z odpowiednimi wskaźnikami oceny sensorycznej AE badanych produktów. W związku z tym oznaczano średnie wartości napięć skutecznych (RMS) wypreparowanych sygnałów przyporządkowanych jednostkowym aktom odgryzania produktów, a rejestrowanych kanałami transmisji powietrznej (U_a), kostnej (U_b) oraz sygnału skumulowanego (U_c) pochodzących od kilkunastu aktów odgryzania poszczególnych próbek testowanych produktów. W założeniu docelowym opracowywanego systemu hybrydowego osoba testera jest obiektem opisanego wyżej monitoringu instrumentalnego, a jednocześnie podmiotem dokonującym oceny audio-sensorycznej badanego produktu. Na obecnym etapie ograniczono się do analizy korelacyjnej wyników monitoringu instrumentalnego jednego spośród uczestników zespołu oceniającego, z odpowiednimi wynikami uśrednionych ocen audio-sensorycznych uzyskanych w ramach prac całego zespołu.

W badaniach sensorycznych zastosowano, będącą w trakcie opracowywania, metodę ASIA (audio-sensorycznej intuicyjnej analizy), która w wersji polskojęzycznej polega na intuicyjnej identyfikacji i odrębnym określaniu poziomu słuchowej percepcji cech badanych produktów nazwanych jako



Rysunek 1 Schemat hybrydowego stanowiska badawczego aktywności akustyczno-emisyjnej produktów spożywczych
Figure 1 A schematic view of a hybrid test bench of the acoustic emission activity of foods

trzaskliwość, chrupliwość i chrzęstliwość, bezpośrednio odnoszących się do polskich rzeczowników dźwiękonaśladowczych. W 15-osobowych nie szkolonych zespołach oceniających przetestowano reprezentatywny zbiór jedenastu suchych produktów komercyjnych pochodzenia roślinnego. Ocenę poziomu percepcji każdej z wymienionych cech przeprowadzano podczas odgryzania próbek badanych produktów, określając wartości wskaźników w dziesięciostopniowej skali liniowej. Kryteria identyfikacji cech oraz skalowania poziomów ekspresji pozostawiono ocenie intuicyjnej członków panelu oceniającego. Ze względu na brak, na obecnym etapie badań, ugruntowanych podstaw do instrumentalnej identyfikacji poszczególnych cech, dane instrumentalne korelowano z sensorycznymi uwzględniając średni poziom percepcji głośności trzech identyfikowanych dla danego produktu cech, znormalizowany do 10-stopniowej skali. Ocenę sensoryczną przeprowadzano w trzech wariantach percepcji:

- w teście *oceny naturalnej*, gdy określano głośność (L_{ab}) sygnału akustycznej emisji odbieranego jednocześnie kanałami powietrznym i kostnym przez uczestnika zespołu oceniającego;
- w teście *twarzą w twarz*, gdy określano głośność (L_a) sygnału AE przekazywanego tylko kanałem powietrznym od partnera odgryzającego próbkę do partnera oceniającego;
- w teście *z zatkanymi uszami*, gdy określano głośność (L_b) sygnału AE percypowanego po transmisji kanałem kostnym słuchacza oceniającego.

3. WYNIKI DOŚWIADCZEŃ I ICH ANALIZA

Wyniki ocen audio-sensorycznych i pomiarów instrumentalnych aktywności akustyczno-emisyjnej (AE) towarzyszącej odgryzaniu wybranych, komercyjnych produktów spożywczych zgromadzono w Tabelach 1 i 2.

W Tabeli 1 produkty uszeregowano według rosnącego poziomu globalnej głośności audio-sensorycznej L_{ab} . Dobór serii produktów do badań aktywności AE wydaje się trafny, pokrywając w miarę równomiernie 10-stopniową skalę głośności ocen sensorycznych. Z analizy danych w Tabeli 1 na szczególną uwagę zasługuje fakt, że wszystkie zawarte w niej wskaźniki globalnej oceny głośności L_{ab} określane w teście *oceny naturalnej* charakteryzują się niższymi wartościami niż odpowiadające tym samym produktom wskaźniki głośności L_a , określane na podstawie odsłuchu sygnałów transmitowanych tylko drogą powietrzną oraz wskaźniki głośności L_b , określane na podstawie odsłuchu sygnałów transmitowanych tylko drogą kostną. Wskaźniki L_b , określane przy zatkanych uszach, przyjmują wartości najwyższe, co jest skutkiem braku maskowania sygnału transmisji kostnej zarówno przez sygnał szumu otoczenia, jak i sygnał transmisji powietrznej. Wskaźniki oceny sensorycznej L_{ab} przyjmują najniższe wartości w wyniku maskowania percypowanych sygnałów nie tylko przez szum otoczenia, ale i wzajemnego maskowania sygnałów przenoszonych kanałami powietrznym oraz kostnym [4], jednak wyjaśnienie roli tego efektu wymaga dodatkowych badań i analiz teoretycznych.

Tabela 1 Audio-sensoryczne wskaźniki aktywności AE wybranych produktów spożywczych, określane w warunkach odrębnych transmisji powietrznej (L_a) oraz kostnej (L_b) i podczas percepcji naturalnej (L_{ab})

Table 1 Auditory sensory scores for AE activity of selected foodstuffs, as determined on the conditions of separated air (L_a) and bone (L_b) transmissions, and during natural perception (L_{ab})

Produkt	L_a	L_b	L_{ab}
Wafle kakaowe	2,75 ± 0,40	4,95 ± 0,70	2,10 ± 0,30
Krakersy	3,70 ± 0,50	5,75 ± 0,60	3,00 ± 0,40
Wafle ryżowe	5,70 ± 0,60	5,20 ± 0,80	3,75 ± 0,25
Promyczki kresowe	4,20 ± 0,40	5,70 ± 0,70	3,75 ± 0,60
Wafle suche	6,20 ± 0,40	5,10 ± 0,60	4,50 ± 0,80
Paluszki słone	4,85 ± 0,90	6,40 ± 0,40	4,55 ± 0,50
Herbatniki Petit Beurre	6,30 ± 0,40	6,50 ± 0,50	5,30 ± 0,60
Chleb WASA (ekstrudat)	6,50 ± 1,00	6,50 ± 0,50	5,50 ± 0,50
Chipsy	6,00 ± 0,80	7,25 ± 0,70	6,00 ± 0,60
Herbatniki korzenne	6,50 ± 0,40	7,80 ± 0,40	6,85 ± 0,60
Sucharki Bake Rolls	8,50 ± 0,50	9,50 ± 0,15	9,00 ± 0,28

Uszeregowanie produktów w Tabeli 2 odpowiada uszeregowaniu zbioru tych samych produktów w Tabeli 1, jednak żaden ze zbiorów wartości napięć skutecznych rejestrowanych instrumentalnie sygnałów, które zgromadzono w poszczególnych kolumnach Tabeli 2, nie odwzorowuje w sposób jednoznaczny tendencji rozkładu ocen sensorycznych. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że dla większości produktów z bardzo dużą dokładnością spełniona jest równość:

$U_a^2 + U_b^2 = U_c^2$, świadcząca o ortogonalności rejestrowanych instrumentalnie sygnałów transmisji powietrznej i kostnej. Efekt ten poddano szczegółowej analizie, zmierzając do opracowania podstaw systemu instrumentalnej identyfikacji i klasyfikacji badanych produktów, a następnie kompleksowej symulacji przebiegu procesów percepcji sensorycznej bodźców generowanych przy konsumpcji produktów aktywnych akustycznie.

Z wielu badań psychoakustycznych [27] wynika, że subiektywny odbiór głośności przekazywanego drogą powietrzną sygnału dźwiękowego o poziomie głośności powyżej 40 fonów podwaja się przy każdym dalszym wzroście tego poziomu o 10 fonów. Tę prawidłowość opisuje odpowiednie równanie (1) definiujące skalę głośności subiektywnej, które dla dźwięków o częstotliwości 1000 Hz można zapisać w postaci:

$$L_s = 2^{\frac{20 \log\left(\frac{P}{P_0}\right) - 20 \log\left(\frac{P_{40}}{P_0}\right)}{10}} \quad (1)$$

Gdzie: P jest ciśnieniem akustycznym dźwięku, P_{40} – ciśnieniem akustycznym dźwięku o poziomie

głośności 40 fonów, P_0 – ciśnieniem akustycznym na progu słyszalności.

W praktyce pomiarowej bardziej użyteczna jest, wynikająca z powyższego równania definicyjnego, zależność:

$$L_s = \left(\frac{P}{P_{40}}\right)^{0.6} \quad (2)$$

Jednostką głośności oznaczanej na podstawie powyższych definicji jest **1 son**.

Przy audio-sensorycznie określanej „głośności skalowanej” sygnału powietrznego L_a w skali 10-stopniowej uzyskuje się, wynikające z prawa Stevensa (1955), wyrażenie:

$$L_a = 10 \left(\frac{P}{P_{a10}}\right)^{0.6} \quad (3)$$

gdzie P_{a10} jest ciśnieniem akustycznym dźwięku, dla którego określono maksymalną wartość skalowanej głośności na poziomie równym 10.

W związku z tym, że w mikrofonowych pomiarach instrumentalnych transmisji powietrznej dźwięków rejestruje się sygnał napięciowy $U_a(t)$, będący jednorodną funkcją liniową ciśnienia akustycznego, wyrażenie (3) może być przepisane w postaci:

$$L_a = 10 \left(\frac{U_a}{U_{a10}}\right)^{0.6} \quad (4)$$

gdzie U_{a10} jest napięciem sygnału mikrofonowego, któremu odpowiada graniczna głośność skalowana na poziomie 10.

Tabela 2 Wartości instrumentalnych wskaźników (RMS) AE aktywności wybranych produktów spożywczych, rejestrowane kanałami transmisji powietrznej (U_a) i kostnej (U_b) oraz sygnału skumulowanego (U_c)

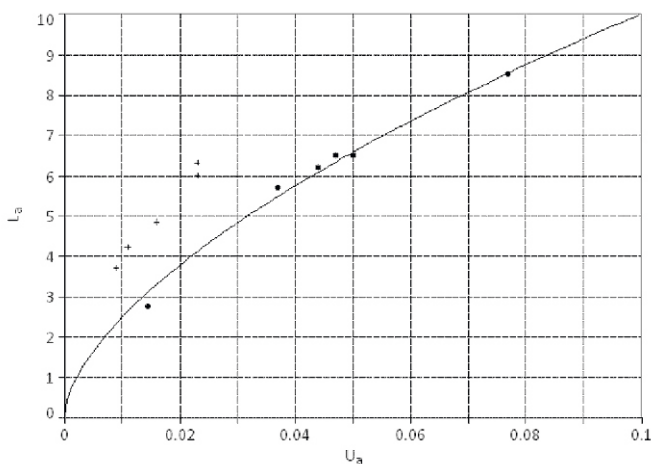
Table 2 Values of instrumental determinations (RMS) for AE activity of selected foodstuffs, as registered in the conditions of separated air (U_a) and bone (U_b) signal transmission, and for cumulative signal (U_c)

Produkt	U_a	U_b	U_c
Wafle kakaowe	0,0145 ± 0,0015	0,0089 ± 0,0010	0,0170 ± 0,0020
Krakersy	0,0090 ± 0,0009	0,0079 ± 0,0010	0,0120 ± 0,0008
Wafle ryżowe	0,0370 ± 0,0080	0,0100 ± 0,0010	0,0340 ± 0,0050
Promyczki kresowe	0,0110 ± 0,0010	0,0085 ± 0,0010	0,0170 ± 0,0020
Wafle suche	0,0440 ± 0,0020	0,0085 ± 0,0009	0,0440 ± 0,0020
Paluszki słone	0,0160 ± 0,0035	0,0120 ± 0,0040	0,0200 ± 0,0050
Herbatniki Petit Beurre	0,0230 ± 0,0012	0,0120 ± 0,0015	0,0260 ± 0,0030
Chleb WASA (ekstrudat)	0,0470 ± 0,0040	0,0248 ± 0,0007	0,0470 ± 0,0040
Chipsy	0,0230 ± 0,0030	0,0180 ± 0,0015	0,0290 ± 0,0030
Herbatniki korzenne	0,0500 ± 0,0110	0,0430 ± 0,0050	0,0660 ± 0,0120
Sucharki Bake Rolls	0,0770 ± 0,0120	0,0680 ± 0,0100	0,0930 ± 0,0120

Zmienne równania (4) odpowiadają wartościom zgromadzonym w pierwszych kolumnach danych Tabel 1 i 2, co pozwala zweryfikować powyższy związek korelacyjny ocen audio-sensorycznych oraz instrumentalnych. Odpowiednie przebiegi dla transmisji powietrznej przedstawiono na Rysunkach 2A i 2B, które rozdzielono ze względu na wyrazisty podział zbadanego zbioru produktów na dwa podzbiory (A) i (B), różniące się dwukrotnie wartościami poziomów odniesienia $U_{\sigma 10}$ napięcia skutecznego, czyli parametrów skalowania (odpowiednio $U'_{\sigma 10}=0,1$ oraz $U''_{\sigma 10}=0,05$), przy równoczesnym zachowaniu jednakowej wartości wykładnika (0,6) ze współczynnikiem korelacji $R \approx 0,98$. Na kolejnych Rysunkach 3 i 4 przedstawiono odpowiednie przebiegi korelacyjne dla pozostałych systemów transmisji, gdzie linie ciągłe reprezentują dopasowanie równania potęgowego typu (4) do rozkładu punktów doświadczalnych.

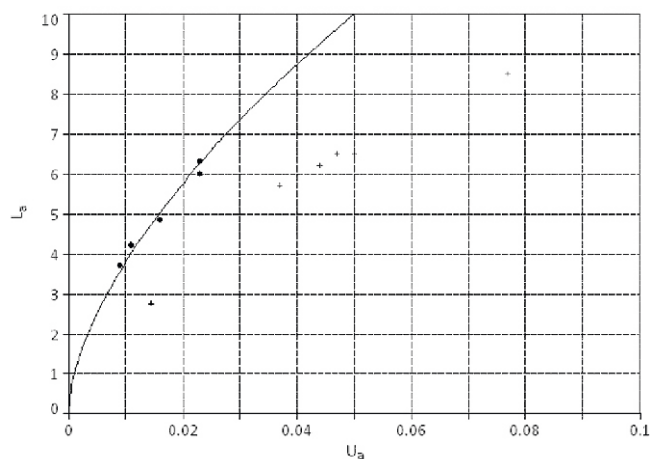
Na wykresach Rysunków 2A, 3A i 4A punkty (•) w kolejności wzrostu wartości wskaźników odnoszą się do następujących produktów: *wafle kakaowe, wafle ryżowe, wafle suche, chlebek WASA, herbatniki korzenne, sucharki Bake Rolls*. Na odpowiednich wykresach Rysunków 2B, 3B i 4B punkty (•) w kolejności wzrostu wartości wskaźników odnoszą się do produktów: *krakersy, promyczki kresowe, paluszki słone, chipsy, herbatniki Petit Beurre*.

Dwa wyodrębnione podzbiory produktów (A) i (B) różnią się dwukrotnie wartościami poziomów odniesienia U_{i10} (odcięte punktów przecięcia się krzywych z linią graniczną skalowania $Li=10$), przy zachowaniu tych wartości (odpowiednio 0,10 oraz 0,05) niezależnie od systemu transmisji sygnału. Efekt rozdzielenia produktów pod względem poziomu odniesienia świadczy o tym, że czynniki strukturalne określają wartość tego parametru i wyjaśnienie mechanizmu tych uwarunkowań wymaga przeprowadzenia dodatkowych prac doświadczalnych i analitycznych. Zmiana systemu transmisji nie zmienia wykładniczego typu zależności funkcyjnej, a przejawia się zmianami wartości wykładników od $\alpha_b = 0,3$ dla transmisji kanałem kostnym, do wartości $\alpha_o = 0,6$ zgodnej z prawem Stevensa (równanie 3) dla transmisji kanałem powietrznym, osiągając wartość $\alpha_c = 0,9$ dla skumulowanych sygnałów transmisji powietrznej i kostnej. Ze względu na brak w literaturze przedmiotu danych doświadczalnych lub teoretycznych z zakresu percepcji audio-sensorycznej sygnałów skumulowanych, jak również transmitowanych



Rysunek 2A Korelacja sensorycznych (L_{σ}) i instrumentalnych (U_{σ}) wskaźników AE aktywności oznaczanych w warunkach transmisji powietrznej dla produktów podzbioru A

Figure 2A A correlation of the sensory (L_{σ}) and instrumental (U_{σ}) AE activity indicators in the conditions of transmission designated for air A subset

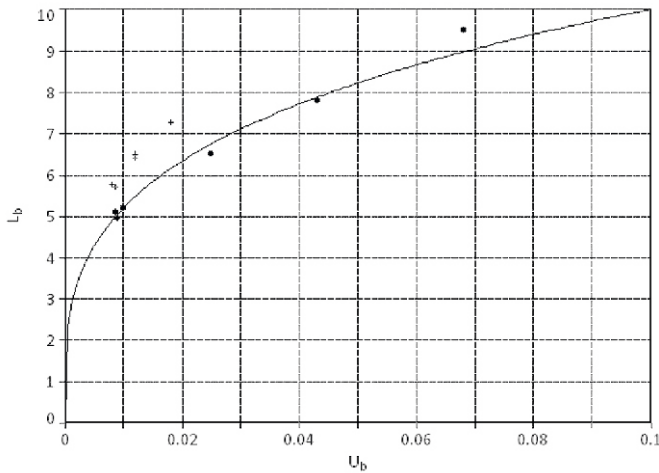


Rysunek 2B Korelacja sensorycznych (L_{σ}) i instrumentalnych (U_{σ}) wskaźników AE aktywności oznaczanych w warunkach transmisji powietrznej dla produktów podzbioru B

Figure 2B A correlation of the sensory (L_{σ}) and instrumental (U_{σ}) AE activity indicators in the conditions of transmission designated for air B subset

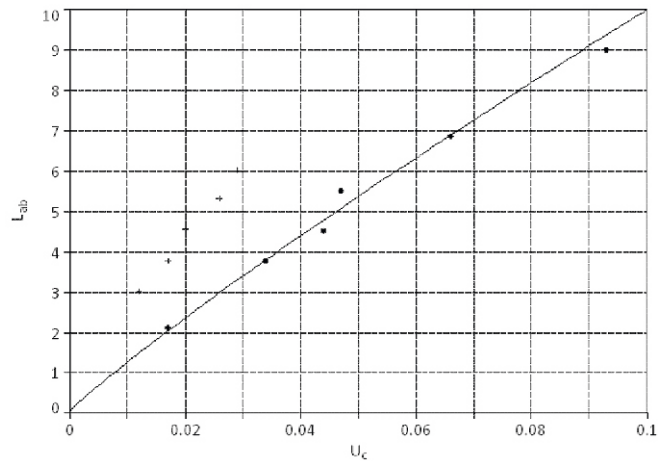
tylko kanałem kostnym, wykładniki pierwszy (0,3) i trzeci (0,9) potraktowano jako parametry empiryczne.

Uzyskane wyniki doświadczeń i przeprowadzonych analiz stwarzają podstawy do opracowania teoretycznych założeń instrumentalnej charakterystyki właściwości akustyczno-emisyjnych produktów spożywczych odnoszącej się bezpośrednio do audio-sensorycznej charakterystyki dotyczącej poziomu aktywności akustycznej tych produktów. Odpowiednie rozważania, wynikające z wstępnego założenia ortogonalności składanych sygnałów, prowadzą do następującego związku



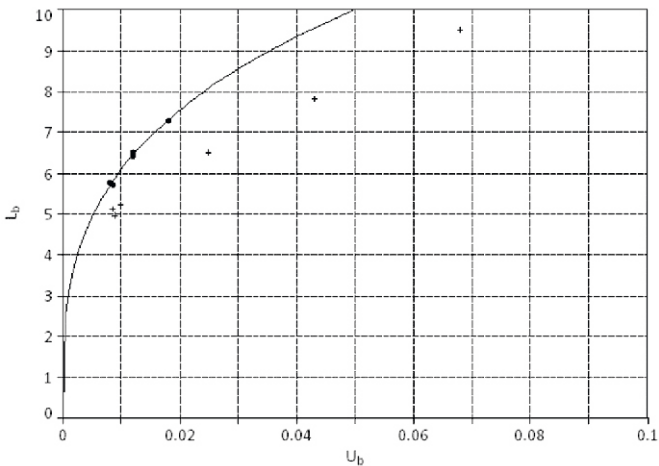
Rysunek 3A Korelacja sensorycznych (L_b) i instrumentalnych (U_b) wskaźników AE aktywności oznaczonych w warunkach transmisji kostnej dla produktów podzbioru A

Figure 3A A correlation of the sensory (L_b) and instrumental (U_b) AE activity indicators in the conditions of transmission designated for bone A subset



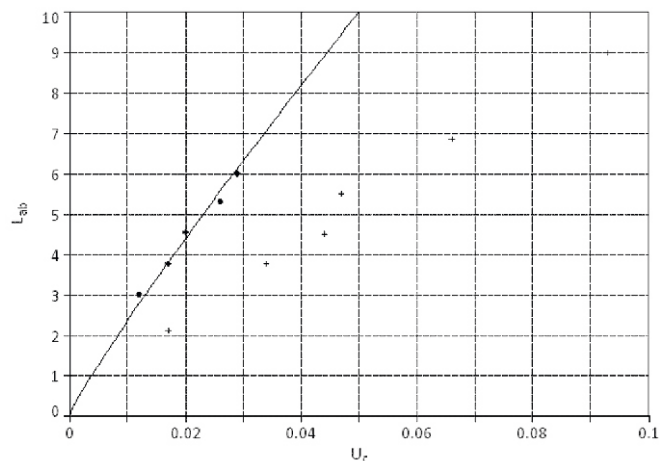
Rysunek 4A Korelacja sensorycznej głośności skalowanej, określanej w teście naturalnym (L_{ab}) oraz RMS skumulowanych sygnałów (U_c) instrumentalnie rejestrowanych odrębnymi torami transmisji powietrznej (mikrofony) i kostnej (akcelerometry) dla produktów podzbioru A

Figure 4A A correlation of sensory scaled volume, determined in a natural test (L_{ab}) and cumulative RMS signal (U_c) instrumentally recorded with the use of separate air transmission tracks (microphones) and bone transmission tracks (accelerometers) for a subset of A



Rysunek 3B Korelacja sensorycznych (L_b) i instrumentalnych (U_b) wskaźników AE aktywności oznaczonych w warunkach transmisji kostnej dla produktów podzbioru B

Figure 3B A correlation of the sensory (L_b) and instrumental (U_b) AE activity indicators in the conditions of transmission designated for bone B subset



Rysunek 4B Korelacja sensorycznej głośności skalowanej, określanej w teście naturalnym (L_{ab}) oraz RMS skumulowanych sygnałów (U_c) instrumentalnie rejestrowanych odrębnymi torami transmisji powietrznej (mikrofony) i kostnej (akcelerometry) dla produktów podzbioru B

Figure 4B A correlation of sensory scaled volume, determined in a natural test (L_{ab}) and cumulative RMS signal (U_c) instrumentally recorded with the use of separate air transmission tracks (microphones) and bone transmission tracks (accelerometers) for a subset of B

funkcyjnego teoretycznej głośności L_{uab} (odpowiadającej sensorycznej głośności L_{ab} z odśłuchu naturalnego) i wartości napięć skutecznych (RMS) sygnałów rejestrowanych kanałami transmisji powietrznej (U_a) oraz kostnej (U_b):

$$L_{uab} = 10 \left[\left(\frac{U_a}{U_{10}} \right)^2 + \left(\frac{U_b}{U_{10}} \right)^2 \right]^{\frac{\alpha_c}{2}} \quad (5)$$

gdzie $U_{10} = U_{a10} = U_{b10}$ jest poziomem odniesienia skalowania danej grupy produktów (0,10 dla typu A lub 0,05 dla typu B).

Przy tym samym założeniu ortogonalności, instrumentalnie oznaczane wartości RMS sygnałów skumulowanych (U_c) pozwalają na obliczenie głośności L_{uc} , będącej również odpowiednikiem sensorycznej głośności L_{ab} , na podstawie zależności:

$$L_{uc} = 10 \left(\frac{U_c}{U_{10}} \right)^{\alpha_c} \quad (6)$$

Ponadto, z przeprowadzonych rozważań wynika możliwość określenia teoretycznej zależności audio-sensorycznej głośności globalnej produktu L_{abt} od określanych audio-sensorycznie głośności, oznaczanych w odrębnych testach transmisji powietrznej (L_a) i kostnej (L_b).

$$L_{abt} = 10 \left[\left(\frac{L_a}{10} \right)^{\frac{2}{\alpha_a}} + \left(\frac{L_b}{10} \right)^{\frac{2}{\alpha_b}} \right]^{\frac{\alpha_c}{2}} \quad (7)$$

Weryfikacja uzyskanych zależności teoretycznych może być dokonana z wykorzystaniem danych doświadczalnych zgromadzonych w Tabelach 1 i 2 oraz wyznaczonych wcześniej odpowiednich parametrów przebiegów korelacyjnych.

W Tabeli 3 zamieszczono wyniki obliczeń, z oznaczeniem przynależności produktu do podzbioru (A) lub (B), głośności uzyskanych na podstawie zależności (5), (6) i (7) w zestawieniu z wartościami głośności L_{ab} określanymi sensorycznie na podstawie bezpośredniej oceny w *teście naturalnym*. Na Rysunku 5 przedstawiono współzależność wartości wskaźników głośności oznaczanych instrumentalnie i wartości wskaźników głośności L_{ab} oznaczanych w testach audio-sensorycznych (•). Zgodny z zasadniczym przebiegiem zależności liniowej rozkład punktów (+) dodatkowo naniesionych na tym rysunku, a obliczonych na pod-

stawie równania (7) uwzględniającego tylko dane z oznaczeń sensorycznych, wskazuje, że przeprowadzane systemem hybrydowym pomiary instrumentalne mogą przyczynić się do wyjaśnienia mechanizmów wzajemnych oddziaływań sygnałów transmisji kostnej i powietrznej w ośrodkach percepcji słuchowej.

Opisująca współzależność danych naniesionych na Rysunku 5 jednorodna funkcja liniowa ze współczynnikiem korelacji 0,97 wskazuje na możliwość instrumentalnej oceny aktywności akustycznej produktów spożywczych w postaci wskaźników jednoznacznie odnoszących się do odpowiednich wskaźników oceny audio-sensorycznej.

4. WNIOSKI

Instrumentalnie oznaczane wartości napięć skutecznych (RMS) sygnałów akustycznych towarzyszących odgryzaniu produktów spożywczych, przy rejestracji tych sygnałów w układzie z osobą testera i po odpowiednich przeliczeniach, prowadzą do ocen jednoznacznie odpowiadających ocenom uzyskiwanym w testach sensorycznych aktywności akustycznej zbadanych produktów. Związki korelacyjne ocen audio-sensorycznych oraz oznaczanych instrumentalnie napięć skutecznych (RMS) podlegają opisowi zgodnemu z wykładniczym prawem Stevensa z wykładnikami o odrębnych wartościach odnoszących się do transmisji kanałem kostnym ($\alpha_b=0,30$) i kanałem powietrznym ($\alpha_a=0,60$) oraz dla sygnałów sku-

Tabela 3. Wyniki obliczeń głośności uzyskane na podstawie zależności (5), (6) i (7) w zestawieniu z wartościami głośności (L_{ab}) z testów sensorycznych

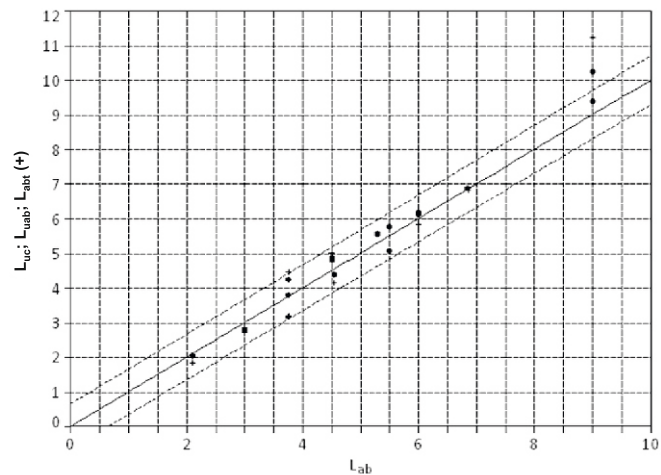
Table 3. Results for volume calculations obtained on the basis of equation (5), (6) and (7) in comparison with the volume values (L_{ab}) from the sensory tests

Produkt	L_{uc}	L_{uab}	L_{abt}	L_{ab}
Wafle kakaowe ^A	2,03	2,03	1,82	2,10 ± 0,30
Krakersy ^B	2,77	2,76	2,85	3,00 ± 0,40
Wafle ryżowe ^A	3,79	4,22	4,46	3,75 ± 0,25
Promyczki kresowe ^B	3,79	3,16	3,19	3,75 ± 0,60
Wafle suche ^A	4,78	4,86	5,00	4,50 ± 0,80
Paluszki słone ^B	4,38	4,38	4,14	4,55 ± 0,50
Herbatniki Petit Beurre ^B	5,55	5,54	5,56	5,30 ± 0,60
Chleb WASA (ekstrudat) ^A	5,07	5,75	5,77	5,50 ± 0,50
Chipsy ^B	6,12	6,16	5,81	6,00 ± 0,60
Herbatniki korzenne ^A	6,88	6,88	6,83	6,85 ± 0,60
Sucharki Bake Rolls ^A	9,37	10,24	11,22	9,00 ± 0,28

mulowanych w zestawieniu ze zbiorem ocen sensorycznych uzyskiwanych w warunkach percepcji naturalnej, wówczas $\alpha_c=0,90$.

Wartości napięć odniesienia (U_{10}), określające wartość współczynnika proporcjonalności w równaniu Stevensa, dzielą zbiór zbadanych produktów na dwa podzbiory, co wskazuje na uwarunkowania strukturalne wartości tego współczynnika. Sygnały emisji akustycznej towarzyszące odgryzaniu badanych produktów, przekazywane odrębnymi torami przewodnictwa powietrznego i kostnego, charakteryzuje ortogonalność zarówno w centrach rejestracji instrumentalnej, jak i w ośrodkach percepcji psychosensorycznej. Stwarza to podstawy do opracowania instrumentalnych systemów badań aktywności akustycznej produktów spożywczych, generujących wyniki jednoznaczne z wynikami ocen audio-sensorycznych.

Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego NCBiR Nr 12001210



Rysunek 5 Zależność wskaźników głośności przewidywanych instrumentalnie (•) od wartości wskaźników głośności L_{ab} oznaczanych w testach audio-sensorycznych

Figure 5 The dependence of the volume ratios predicted instrumentally (•) from L_{ab} values of the volume designated in the audio-sensory tests

LITERATURA

- [1] Szczesniak A. S., The meaning of textural characteristics – crispness. *Journal of Texture Studies*. Vol. 19, 51-59, 1988.
- [2] Szczesniak A. S., Texture: Is it still an overlooked food attribute? *Food Technology*. Vol. 44, 86-95, 1990.
- [3] Dogan H., Kokini J. L., Psychophysical markers for crispness and influence of phase behavior and structure. *Journal of Texture Studies*. Vol. 38, 324-354, 2007.
- [4] Lenfant F., Loret Ch., Pineau N., Hartmann Ch., Martin N., Perception of oral food breakdown. The concept of sensory trajectory. *Appetite*. Vol. 52, 659-667, 2009.
- [5] Duizer L., A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 12, 17-24, 2001.
- [6] Roudaut G., Dacremont C., Valles Pamies B., Colas B., Le Meste M., Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 13, 217-227, 2002.
- [7] Chauvin M. A., Younce F., Ross C., Swanson B., Standard scales for crispness, crackliness and crunchiness in dry and wet foods: relationship with acoustical determinations. *Journal of Texture Studies*. Vol. 39, 345-368, 2008.
- [8] Mioche L., Peyron M. A., Bite force displayed during assessment of hardness in various texture contexts. *Archs Oral Biol*. Vol. 40, 5, 415-423, 1995.
- [9] Corradini M. G., Peleg M., Direction reversals in the mechanical signature of cellular snacks: a measure of brittleness? *Journal of Texture Studies*. Vol. 37, 538-552, 2006.
- [10] Duizer L. M., Winger R. J., Instrumental measures of bite forces associated with crisp products. *Journal of Texture Studies*. Vol. 37, 1-15, 2006.
- [11] Castro-Prada E. M., Luyten H., Lichtendonk W., Hamer R. J., Van Vliet T., An improved instrumental characterization of mechanical and acoustic properties of crispy cellular solid food. *Journal of Texture Studies*. Vol. 38, 698-724, 2007.
- [12] Poliszko S., Klimek D., Moliński W., Acoustic emission activity of rehydrated corn extrudates. Properties of Water in Foods. Warsaw Agric. Univ. Press, Warszawa. 25-30, 1995.

- [13] Chen J., Karlsson C., Povey M., Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. *Journal of Texture Studies*. Vol. 36, 139-156, 2005.
- [14] Gondek E., Lewicki P. P., Ranachowski Z., Influence of water activity on the acoustic properties of breakfast cereals. *Journal of Texture Studies*. Vol. 37, 497-515, 2006.
- [15] Luyten H., Van Vliet T., Acoustic emission, fracture behavior and morphology of dry crispy foods: a discussion article. *Journal of Texture Studies*. Vol. 37, 221-240, 2006.
- [16] Taniwaki M., Hanada T., Sakurai N., Device for acoustic measurement of food texture using a piezoelectric sensor. *Food Research International*. Vol. 39, 1099-1105, 2006.
- [17] Muruyama T. T., Cespedes Arce A. I., Ribeiro P. L., Xavier Costa E. J., Time-frequency analysis of acoustic noise produced by breaking of crisp biscuits. *Journal of Food Engineering*. Vol. 86, 100-104, 2008.
- [18] Zdunek A., Konopacka D., Jesionkowska K., Crispness and crunchiness judgment of apples based on contact acoustic emission. *Journal of Texture Studies*. Vol. 41, 75-91, 2010.
- [19] Dacremont C., Spectral composition of eating sounds generated by crispy crunchy and crackly foods. *Journal of Texture Studies*. Vol. 26, 27-43, 1995.
- [20] Marzec A., Lewicki P. P., Ranachowski Z., Influence of water activity on acoustic emission of flat extruded bread. *Journal of Food Engineering*. Vol. 79, 410-422, 2007.
- [21] Salvador A., Varela P., Sanz T., Fiszman S. M., Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT-Food Science and Technology*. Vol. 42, 763-767, 2009.
- [22] Kapur K. K., Frequency spectrographic analysis of bone conducted chewing sounds in persons with natural and artificial dentitions. *Journal of Texture Studies*. Vol. 2, 50-61, 1971.
- [23] Vickers Z. M., Bourne M. C., A psychoacoustical theory of crispness. *Journal of Food Science*. Vol. 41, 1158-1164, 1976.
- [24] Vickers Z. M., Christensen C. M., Relationships between sensory crispness and other sensory and instrumental parameters. *Journal of Texture Studies*. Vol. 11, 291-307, 1980.
- [25] Christensen C. M., Vickers Z. M., Relationships of chewing sounds to judgements of food crispness. *Journal of Food Science*. Vol. 46, 574-578, 1981.
- [26] Duizer L. M., Campanella O. H., Barnes G. R. C., Sensory, instrumental and acoustic characteristics of extruded products. *Journal of Texture Studies*. Vol. 29, 397-411, 1998.
- [27] Ozimek E., Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne. PWN, Warszawa-Poznań, 2002.