

## **Właściwości mechaniczne i akustyczne Suchych produktów zbożowych**

### **Streszczenie**

Celem pracy była analiza właściwości mechanicznych i akustycznych suchych produktów zbożowych, handlowych. Zakres pracy obejmował analizę krzywych łamania, pracy i naprężeń łamania oraz energii i widm akustycznych. Stwierdzono, że skład chemiczny i metoda wytwarzania produktu wpływa na jego właściwości mechaniczne i jakość emitowanego dźwięku. Każdy produkt posiada swój własny profil częstotliwości. Na podstawie charakterystyk widmowych można rozróżnić produkty.

**Słowa kluczowe:** tekstura, pieczywo chrupkie, ciastka, mechanika, akustyka

### **Oznaczenia**

F - siła zginająca rosnąca w czasie [N];  
v - szybkość odkształcenia [m/s];  
L - odległość między podporami [m];  
e - szerokość pieczywa [m];  
h - grubość pieczywa [m];  
F<sub>max</sub> - siła maksymalna, [N]

### **Wprowadzenie**

Atrakcyjność kruchych przekąsek zbożowych polega na specyficznych, przyjemnych odczuciach towarzyszących ich rozdrabnianiu podczas jedzenia. To co postrzegane jest jako kruchość lub chrupkość jest reakcją zmysłów na połączenie mechanicznego niszczenia i towarzyszących mu dźwięków.

Cechy mechaniczne i akustyczne tego typu produktów są bardzo istotne, z punktu widzenia oceny jakości. Utrata tych cech oznacza brak sensorycznej akceptacji konsumenta.

Ocena tekstury produktów kruchych jest szczególnie kłopotliwa ze względu na fakt, że uzyskiwane na podstawie testów mechanicznych krzywe łamania i ściskania mają specyficzną, trudną do interpretacji postać [Wollny i Peleg, 1994; Van Heck i wsp., 1995, Roudaut i wsp., 1998]. Nieregularność (postrzępienie) uzyskiwanych charakterystyk mechanicznych powoduje, że czasem bardzo trudno a nawet niemożliwe jest uzyskanie zależności naprężenia w funkcji odkształcenie. W większości przypadków obliczone parametry mogą być użyte jedynie do porównania próbek tego samego materiału [Peleg, 1997].

W literaturze opisano wiele parametrów mechanicznych. Najczęściej określana jest maksymalna wartość siły, ale nie do końca jest jasne czy

reprezentuje ona wytrzymałość w powszechnym rozumieniu tego terminu, jako że mogło w jednym momencie dojść do kilku częściowych zdarzeń zniszczenia elementów strukturalnych [Peleg, 1998]. Pozorny moduł Younga wyznaczany na podstawie nachylenia początkowego odcinka krzywej siła-odkształcenie jest interpretowany jako miara kruchości i twardości [Fontanet, 1997; Marzec 2002]. Inni te same cechy określają jako pole pod krzywą siła-odkształcenie. Należy pamiętać, że parametry te mogą służyć do porównania próbek tego samego rodzaju, rozmiaru i kształtu.

Emisja akustyczna generowana podczas niszczenia suchych produktów zbożowych jest ważnym składnikiem cech określanych jako chrupkość czy kruchość. Badania wykazały, że połączenie analizy akustycznej z testami mechanicznymi i oceną struktury daje możliwość precyzyjnego zdefiniowania i oceny tekstury produktów spożywczych [Duizer, 2001]. Badanie dźwięku podczas niszczenia struktury produktów chrupkich ma swoje zalety. Wytworzony dźwięk jest stosunkowo niezależny od geometrii produktu. Analiza widm akustycznych produktów pozwala na klasyfikację materiałów na kruche i chrupkie.

Celem pracy była analiza właściwości mechanicznych i akustycznych suchych produktów zbożowych, handlowych. Zakres pracy obejmował analizę krzywych łamania w układzie siła łamania-czas łamania, pracy i naprężeń łamania oraz energii i widm akustycznych.

## **Metodyka badań**

Materiał badawczy stanowiło pieczywo chrupkie ekstrudowane „Chaber” pszenne, żytnie, kukurydziano-gryczane i kukurydziano-ryżowe o wymiarach 120x54x7mm, pieczywo chrupkie „Wasa” żytnie o wymiarach 120x54x4mm, krakersy o wymiarach 48x40x5mm, herbatniki dietetyczne i z tłuszczem o wymiarach 60x50x5mm.

We wszystkich badanych próbkach oznaczono aktywność wody ( $a_w$ ) za pomocą higrometru Hygroskop DT2 firmy Rotronic o dokładności  $\pm 0,001$ , w temperaturze 25 °C.

Próbki badanych produktów były poddane procesowi łamania za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick 1445. Odległość między podporami wynosiła 0,052 m dla pieczywa chrupkiego i 0,040 m dla krakersów i herbatników. Pieczywo chrupkie łamano z prędkością 20 mm/min, zaś ciastka z prędkością 60 mm/min.

Pomiary emisji akustycznej wzbudzonej wskutek działania mechanicznych naprężeń powstałych podczas łamania próbek produktów wykonano za pomocą aparatury pomiarowej w skład, której wchodził akcelerometr piezoelektryczny typu 4370V firmy Brüel&Kjær. Sensor pomiarowy był umieszczony na końcowym odcinku głowicy maszyny wytrzymałościowej Zwick 1445. Sygnał z akcelerometru był wzmacniany 20 dB i podawany na wejście mikrofonowe karty dźwiękowej pracującej z częstotliwością próbkowania 44,1 kHz. Po zarejestrowaniu sygnał był poddawany dyskretnemu przekształceniu Fouriera w paśmie 0,1–15 kHz z rozdzielczością

11 Hz. Tor pomiarowy był testowany na powtarzalność zapisu za pomocą testu kruszenia grafitu 0,5mm HB.

Wyznaczono pracę w [J] i naprężenia łamiące w [Pa] z zależności:

$$W = v \cdot \int_0^t F \cdot (t) dt \quad (1)$$

$$\sigma_r = F_{\max} \cdot \frac{3L}{2eh^2} \quad (2)$$

## Wyniki

Biorąc pod uwagę odczucia kruchości podczas spożywania, testy łamania wydają się najbardziej odpowiednimi stosowanymi w badaniach tekstury [Roudaut i wsp., 2002]. Do scharakteryzowania mechanicznych właściwości badanych materiałów wyznaczono twardość wyrażoną przez pracę łamania oraz wytrzymałość jako naprężenie w próbie zginania. Badane produkty zbożowe nieznacznie różniły się aktywnością wody (tab. 1.).

Tab. 1. Aktywność wody badanych produktów

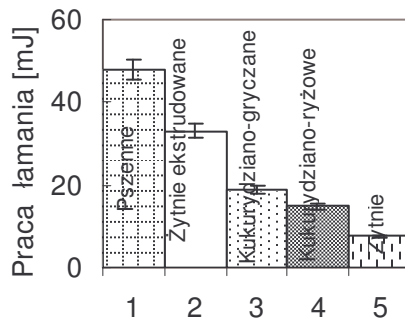
Tab. 1. Water activity of cereal products

Rodzaj pieczywa chrupkiego	Pszenne	Żytnie ekstrudowane	Kukurydziano-ryżowe	Kukurydziano-gryczane	Żytnie
Aktywność wody	0,278 ±0,002	0,257 ± 0,003	0,281± 0,003	0,304 ±0,002	0,274 ±0,002
Rodzaj ciastek	Krakersy		Herbatniki dietetyczne	Herbatniki z tłuszczem	
Aktywność wody	0,413 ± 0,001		0,180 ± 0,002	0,191 ± 0,001	

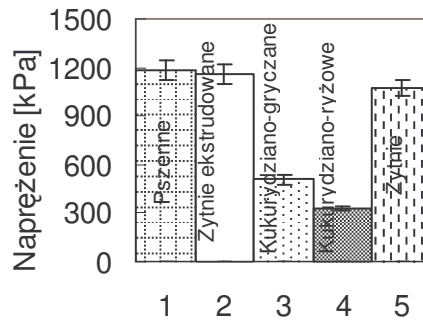
Rysunki 1, 2, 3 i 4 przedstawiają pracę i naprężenia łamiące pieczywa i ciastek. Uzyskano wyniki o dużym rozrzucie, co świadczy o heterogeniczności badanych materiałów.

Analizując pracę i naprężenia łamiące pieczywa chrupkiego stwierdzono, że skład chemiczny istotnie wpływa na otrzymane wartości (Rys.1, 2). Rodzaj surowca użytego do produkcji pieczywa chrupkiego ekstrudowanego „Chaber” istotnie wpływa na jego twardość określoną na podstawie pracy łamania oraz wytrzymałość definiowaną jako naprężenie łamiące.

Największą twardością i wytrzymałością charakteryzowało się pieczywo ekstrudowane żytnie i pszenne. Istotnie niższe wartości uzyskano dla pieczywa kukurydziano-gryczanego i kukurydziano-ryżowego (Rys. 1, 2).



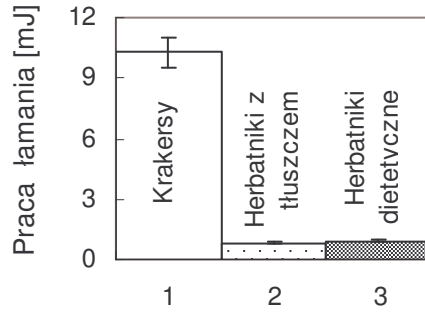
Rys. 1. Wpływ rodzaju pieczywa na pracę łamania  
 Fig. 1. Relationship between the kind of flat bread and breaking work



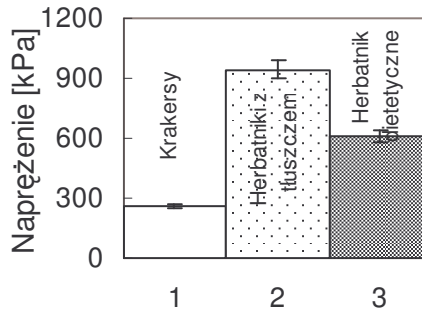
Rys. 2. Wpływ rodzaju pieczywa na naprężenie łamiące  
 Fig.2. Relationship between the kind of flat bread and breaking stress

Również metoda wytwarzania produktu wpływa na badane parametry mechaniczne. Porównując pieczywo żytnie „Wasa” wytwarzane tradycyjną metodą z pieczywem żytnim „Chaber” otrzymanym w wyniku ekstruzji stwierdzono istotne różnice w ich twardości. Natomiast naprężenie łamiące tych produktów nie różni się statystycznie istotnie.

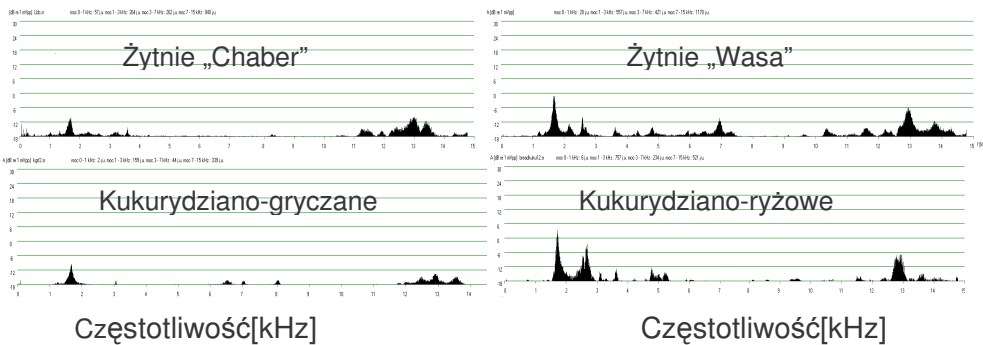
Podobne tendencje obserwowano w badanych ciastkach. Różnią się one twardością i wytrzymałością (Rys. 3 i 4). Przyczyną tego jest prawdopodobnie ich różny skład chemiczny. Krakersy zawierają dużo tłuszczu (ok. 43g/100g produktu) oraz ich aktywność wody jest istotnie wyższa niż  $a_w$  herbatników. Wcześniejsze badania Jakubczyk i wsp. [2004] wykazały, że ze wzrostem  $a_w$  twardość krakersów rośnie i najwyższą jej wartość zanotowano przy  $a_w$  powyżej 0,40. Badane herbatniki nie różniły się twardością, ale ich wytrzymałość była różna (Rys. 3 i 4).



Rys. 3. Wpływ rodzaju ciastek na pracę łamania  
 Fig.3. Relationship between the kind of product and breaking work



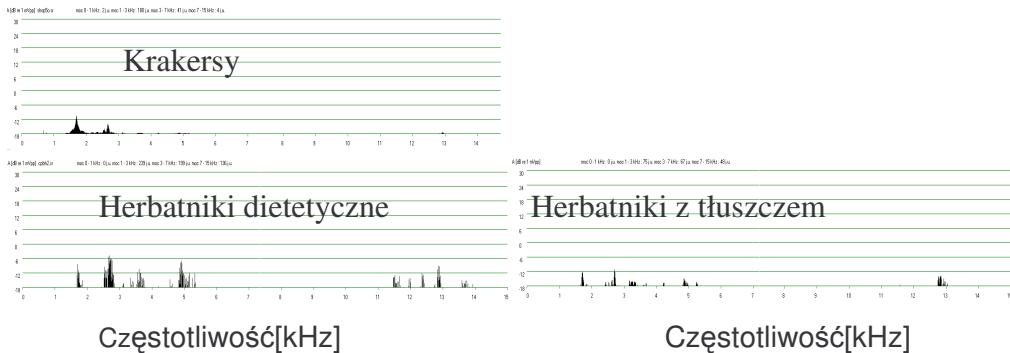
Rys.4. Wpływ rodzaju ciastek na naprężenie  
 Fig.4. Relationship between the kind of product and breaking stress



Rys. 5. Widma akustyczne pieczywa chrupkiego  
 Fig. 5. Acoustic spectra of flat breads

Charakterystyki widmowe emisji akustycznej badanych produktów uwidaczniają istotny wpływ składu chemicznego na jakość emitowanego dźwięku (Rys. 5 i 6). Zaobserwowano, że niezależnie od składu chemicznego badane pieczywo emituje dźwięki w zakresie niskich i wysokich częstotliwości, jednak ich zakresy różnią się istotnie. Każdy badany produkt posiada swój własny charakterystyczny profil częstotliwości (Rys. 5). Dolne pasmo przypadało na przedział częstotliwości 1-3 kHz dla pieczywa chrupkiego ekstrudowanego pszenne i żytnie, górne odpowiednio na 11-

15 kHz i 12-15 kHz. Pieczywo chrupkie kukurydziano-ryżowe emitowało dźwięki o częstotliwości 2-6 kHz w dolnym paśmie i 13-15 kHz w górnym, zaś pieczywo chrupkie kukurydziano-gryczane 1-5 kHz i 12-14 kHz. Pieczywo żytnie „Wasa” emitowało dźwięk o częstotliwości 2-8 kHz i 13-14 kHz (Rys. 5). Pieczywa te również istotnie różniły się energią sygnału.



Rys. 6. Widma akustyczne ciastek  
Fig. 6. Acoustic spectra of crackers and biscuits

Dla krakersów dolne pasmo przypadało na 2-3 kHz, a górne przypadało na 14 kHz. W herbatnikach niskokalorycznych dolne pasmo przypadało na częstotliwość 2-6 kHz, a w herbatnikach wysokokalorycznych na 2-4 kHz, natomiast emisja akustyczna w górnym paśmie nie różniła się i przypadała na 13-14 kHz (Rys. 6).

## Wnioski

Skład chemiczny i metoda wytwarzania produktu wpływa na jego właściwości mechaniczne i jakość emitowanego dźwięku. Każdy produkt posiada swój własny profil częstotliwości. Na podstawie charakterystyk widmowych można określić rodzaj produktu.

## Bibliografia

- Duizer L., 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Sci. & Technology*, 12, 17-24.
- Fontanet I., Davidou S., Decremont C., Le Meste M., 1997. Effect of water on the mechanical behavior of extruded flat bread. *J. Cereal Sci.*, 25, 303-311.
- Lewicki P.P., Jakubczyk E., Marzec A., Do Carmo Cabral M., Pedro Miguel Pereira P.M. 2004. Effect of water activity on mechanical properties of dry cereal products. *Acta Agrophysica* (przyjęte do druku)

Marzec A. 2000. Wpływ aktywności wody na właściwości mechaniczne i akustyczne pieczywa chrupkiego. Praca doktorska. SGGW, Warszawa

Peleg M., 1994. A mathematical model of crunchiness crispness loss in breakfast cereals. *J. Texture Studies*, 25, 403-410.

Roudaut G., Dacremont C., Valles Pamies B., Colas., Le Meste M., 2002. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches, *Trends I Food Science & Technology*, 13, 217-227.

Wollny M., Peleg M., 1994. A model of moisture-induced plasticization of crunchy snack based on Fermi's distribution function. *J. Sci. Food and Agric.*, 64, 467-473.

Van Hecke E., Allaf K., Bouvier J. M., 1995. Texture and structure of crispy-puffed food products. I. Mechanical properties in bending. *J. Texture Studies* 26(1), 11-25.

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2003-2006 (3 P06T 040 25)

### **Mechanical and acoustic properties of Dry cereal products**

#### **Summary**

Mechanical and acoustic properties of cereal based products were investigated. Wheat, rye, corn-rice and corn-buckwheat extruded flat breads as well as flat rye bread produced by traditional method were investigated. Moreover, crackers and biscuits with different content of fat were analyzed. It was shown that the kind of material as well as manufacturing process affect mechanical and acoustic properties of the final product. The breaking work was largest for extruded flat wheat bread and the smallest for the rye bread produced by traditional method. On the other hand crackers were much more resistant to failure than the biscuits. Each product emits sound during breaking and the acoustic spectrum and the acoustic energy are characteristic for the given product.

**Key words:** crisp bread, crackers, texture, acoustic emission