

WPLYW AKTYWNOŚCI WODY NA PRZEBIEG KRZYWYCH ŚCISKANIA PŁATKÓW ZBOŻOWYCH

Ewa Gondek, Piotr P. Lewicki

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_gondek@sggw.pl

Streszczenie. Przedmiot badań stanowiły płatki kukurydziane oraz płatki z otręb psennych o aktywnościach wody z zakresu od 0,075 do 0,865. Założoną aktywność materiału uzyskiwano poprzez przechowywanie materiału w higrostatkach o stałej wilgotności względnej powietrza. Płatki umieszczono w cylindrze i ścisniano w maszynie wytrzymałościowej Zwick 1445 firmy Zwick GmbH. Krzywe ścisnienia opisano czteroparametrowym równaniem zaproponowanym przez Pelega, oraz przedstawiono w funkcji naprężenie bezwymiarowe-odkształcenie. Stwierdzono, że aktywność wody materiału istotnie wpływa na kształt krzywych ścisnienia. Wzrost aktywności wody powoduje przejście krzywej sigmoidalnej we wklęsłą i jednocześnie wzrost stałej n_1 równania Pelega do wartości zbliżonej do 1. Wzrost aktywności wody badanego surowca wywołuje również stopniowe wygładzanie się uzyskanych charakterystyk mechanicznych.

Słowa kluczowe: płatki zbożowe, właściwości mechaniczne, aktywność wody

WYKAZ OZNACZEŃ:

F – siła (N),
 L – wysokość złoża przed ściśnięciem (mm),
 S – powierzchnia (m^2)
 v – prędkość przesuwu tłoka ($m \cdot s^{-1}$),
 k, n – stałe,
 τ – czas (s).

WSTĘP

Płatki zbożowe zaliczane do zbożowej galanterii śniadaniowej cieszą się od lat stale rosnącą popularnością, wynika to zarówno z wygody przygotowania z nich posiłku jak i z walorów smakowych. Zapewnienie dobrej jakości tego typu produktom jest dość

trudne bo płatki zbożowe to typowe produkty higroskopijne o niskiej aktywności wody chłoneące intensywnie wilgoć zarówno podczas przygotowania posiłków jak i podczas przechowywania. Wskutek tego procesu płatki zbożowe tracą swoje pożądane i lubiane przez konsumentów cechy tekstury, przez co produkt jest odrzucany przez konsumenta. Właściwości mechaniczne kruchych produktów zbożowych ściśle są związane z aktywnością wody i są istotne zarówno z punktu widzenia tekstury tego typu produktów jak i z punktu widzenia stabilności materiału podczas pakowania, dystrybucji i magazynowania. Właściwości mechaniczne produktów zbożowych o strukturze gąbki były analizowane w wielu pracach jednak opracowania dotyczące badania tego typu produktów w masie są stosunkowo nieliczne (Nuebel i Peleg 1993, Nixon i Peleg 1995, Suwonsichon i in. 1997, Suwonsichon i Peleg 1999, Gondek i Lewicki 2006).

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły płatki kukurydziane firmy Nestle oraz płatki z otrąb pszennych firmy Sante. W badanych płatkach zbożowych oznaczono aktywności wody (a_w) w urządzeniu Aqua Lab CX-2 firmy Decagon Devices Inc., o dokładności $\pm 0,003$ wartości a_w , w temperaturze $25\pm 1,5^\circ\text{C}$, oraz zawartość wody zgodnie z polską normą PN-ISO-6540.

Materiał przed badaniem był umieszczony w higrostatach nad nasyconymi roztworami soli (co zapewniało stałą, określoną wilgotność względną powietrza) i przechowywany przez okres 3 miesięcy. Po tym czasie aktywność wody płatków była mierzona powtórnie (tab.1).

Tabela 1. Stałe równania 4 (podano wartości mediany)

Table 1. Constants of equation 4 (median)

Badany produkt – Investigated product	a_w	k_1 (kPa)	n_1	k_2 (kPa)	n_2
Płatki z otrąb pszennych – Wheat bran flakes	0,075	49,66	0,46	1926,86	4,14
	0,295	61,02	0,65	1212,48	5,49
	0,423	37,15	0,55	957,51	4,72
	0,577	35,85	0,59	2342,72	4,42
	0,661	7,92	1,02	534,97	5,55
	0,865	9,40	0,97	455,00	4,96
Płatki kukurydziane – Corn flakes	0,125	16,74	0,28	435,09	3,16
	0,320	42,09	0,49	767,87	4,11
	0,423	52,13	0,45	1052,37	4,14
	0,505	35,66	0,50	818,02	3,37
	0,650	21,13	0,51	754,86	3,51

Próbki płatków o znanej masie, o aktywnościach wody z zakresu od 0,075 do 0,865, poddano testowi ściskania w maszynie wytrzymałościowej Zwick 1445 firmy Zwick GmbH w cylindrze o średnicy 30 mm i wysokości 60 mm, z prędkością przesuwu tłoka $v = 50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Przesunięcie tłoka wynosiło 30 mm co stanowiło 50% wysokości złoża płatków.

Rejestrowano przebieg zmienności siły w czasie. Eksperyment wykonywano w 10 powtórzeniach.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono:

odkształcenie względne próbki:

$$\varepsilon_{wzgl} = \frac{v \cdot \tau}{L} \quad (1)$$

odkształcenie rzeczywiste próbki:

$$\varepsilon = -\ln(1 - \varepsilon_{wzgl.}) \quad (2)$$

naprężenie, kPa:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Uzyskane krzywe naprężenie-odkształcenie opisano równaniem (Swyngedau i in. 1991, Nuebel i Peleg 1993):

$$\sigma = k_1 \cdot \varepsilon^{n_1} + k_2 \cdot \varepsilon^{n_2} \quad (4)$$

Obliczono bezwymiarowe naprężenie (Barrett i in. 1992):

$$Y(\varepsilon) = \frac{\sigma(\varepsilon) - \sigma^*(\varepsilon)}{\sigma^*(\varepsilon)} \quad (5)$$

gdzie: $\sigma^*(\varepsilon)$ obliczono na podstawie równania (4).

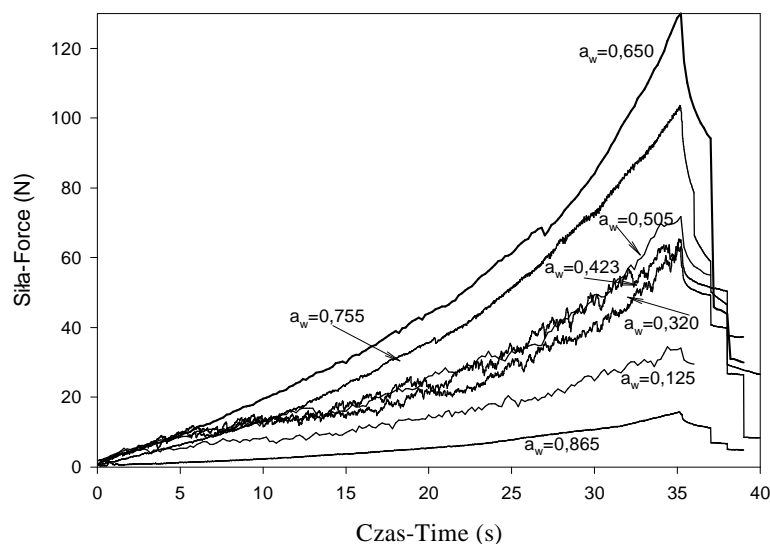
Opracowanie oraz prezentację wyników wykonano za pomocą programów Table Curve 2D, Sigma Plot. Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statgraphics Plus v 4.0 stosując test Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

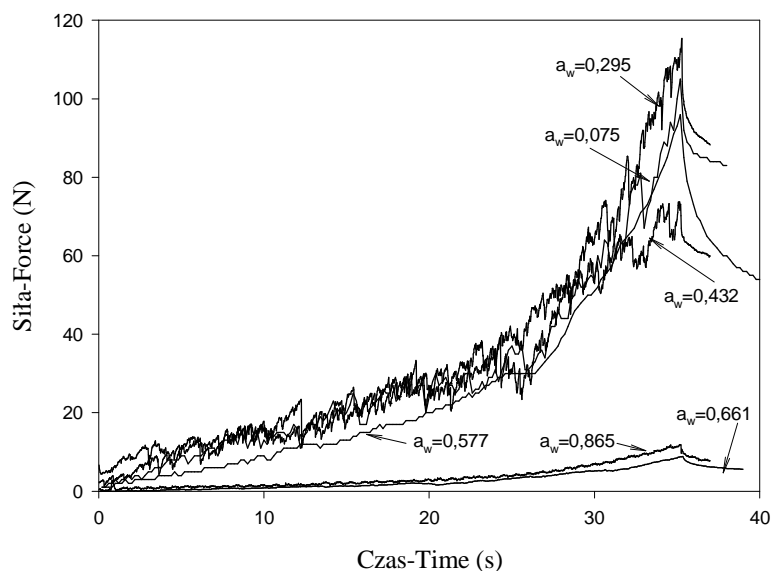
Badanie płatków zbożowych w masie jest bardziej racjonalne niż analiza pojedynczych płatków. Jest to procedura mniej pracochłonna a uzyskane wyniki, ze względu na znaczną heterogeniczność właściwości płatków, cechują się większą powtarzalnością. Ponadto za taką formą badań przemawia fakt, że produkty

o niewielkich rozmiarach jak płatki są zazwyczaj pakowane, transportowane i spożywane w masie. Wykazano ponadto, analizując właściwości mechaniczne płatków śniadaniowych i chrupek serowych, że możliwe jest określenie niektórych właściwości pojedynczych cząstek na podstawie parametrów wyznaczonych w masie (Suwonsichon i in. 1997).

Uzyskane w pracy krzywe ściskania płatków o niskiej aktywności wody są typowymi krzywymi ściskania produktów kruchych, porowatych w masie (rys. 1 i 2) cechując się kształtem sigmoidalnym i nieregularnym przebiegiem. Taki przebieg krzywych ściskania przedstawia wielu badaczy (Barrett i wsp. 1992, Ulbricht i in. 1995, Tesh i in. 1996, Borges i Peleg 1997, Fontanet i in. 1997, Saklar i in. 1999). Krzywe ściskania produktów o strukturze gąbki w masie cechuje występowanie trzech etapów. Pierwszy reprezentuje zdolność do odkształcenia struktury nienaruszonej, drugi niszczenie struktury komórkowej i upakowywanie cząstek, a trzeci ściskanie zwartej warstwy zniszczonych elementów struktury. Podobne do uzyskanych w niniejszej pracy wyniki uzyskano dla badanych w masie: popcornu, dmuchanego ryżu i kukurydzy oraz rozdrobnionego polistyrenu (Swyngedau i in. 1991, Nuebel i Peleg 1993). Zauważono też, że krzywe ściskania produktów badanych w masie cechują się mniejszym postrzępieniem niż tych samych produktów testowanych indywidualnie (Nuebel i Peleg 1993, 1994, Nixon i Peleg 1995, Ulbricht i in. 1995, Suwonsichon i in. 1997).



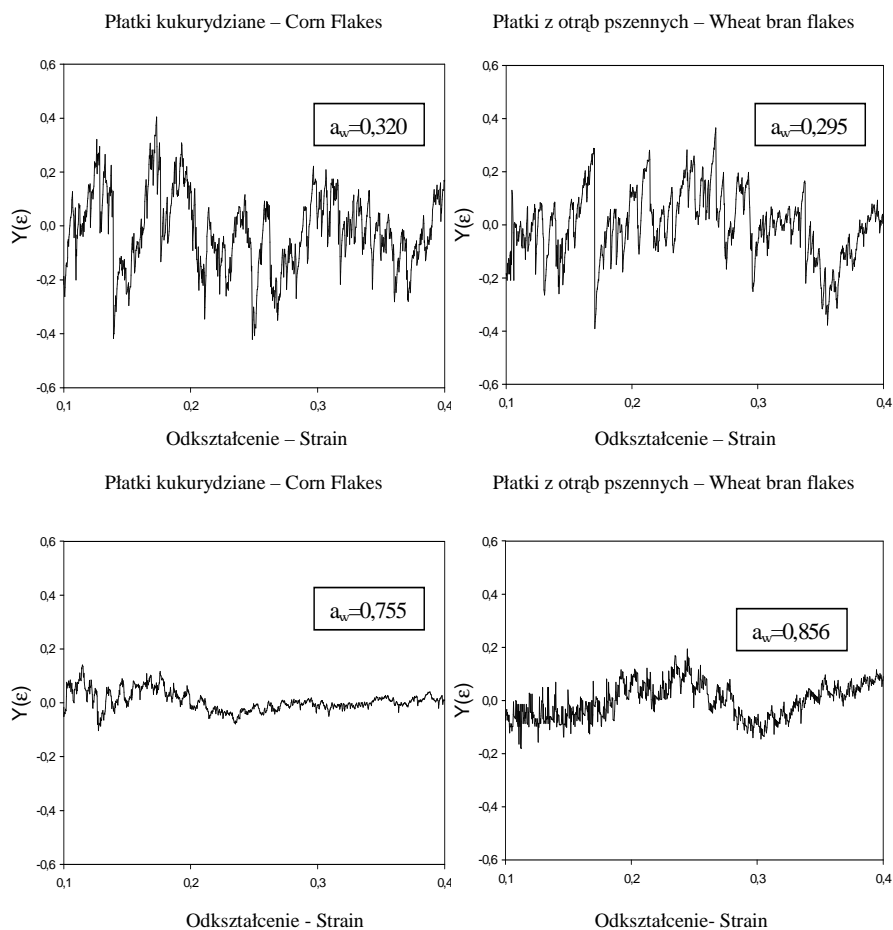
Rys. 1. Krzywe ściskania płatków kukurydzianych o zróżnicowanej aktywności wody
Fig. 1. Compression curves of corn flakes at different water activity



Rys. 2. Krzywe ściskania płatków z otrąb pszennych o zróżnicowanej aktywności wody
Fig. 2. Compression curves of wheat bran flakes at different water activity

Wyglądanie zapisów właściwości mechanicznych jest tłumaczone efektem uśredniania i amortyzacji. Ponieważ ekstrema siły są ułożone według przypadkowej sekwencji, ich sumowanie powoduje naturalne wygładzenie uśrednionej krzywej. Efekt amortyzacji zaś jest rezultatem odkształcalności złoża, zdolności niektórych cząstek do poślizgu i reorientacji pod wpływem przyłożonego naprężenia (Nixon i Peleg 1995).

Wpływ rosnącej aktywności wody produktu na postrzępienie krzywych ściskania można przedstawić w formie zależności naprężenia bezwymiarowego, obliczonego na podstawie równania (5) od odkształcenia rzeczywistego (rys. 3). Taka prezentacja wyników pozwala na porównywanie ze sobą produktów różniących się zakresem siły (Barret i in. 1992). Obserwowane na wykresach wygładzenie krzywych jest łączone z utratą kruchości przez produkty pochodzenia zbożowego o budowie komórkowej. Zanik postrzępienia oznacza zmianę mechanizmu niszczenia produktu, w niskiej aktywności wody jest to kruche pękanie, materiału a w wysokiej plastyczna deformacja nienaruszonych ścian komórek powietrznych (Gondek i Lewicki 2006). Jeśli produkt badany jest w masie wówczas na początku procesu obserwuje się głównie usuwanie powietrza ze złoża i upakowywanie cząstek.

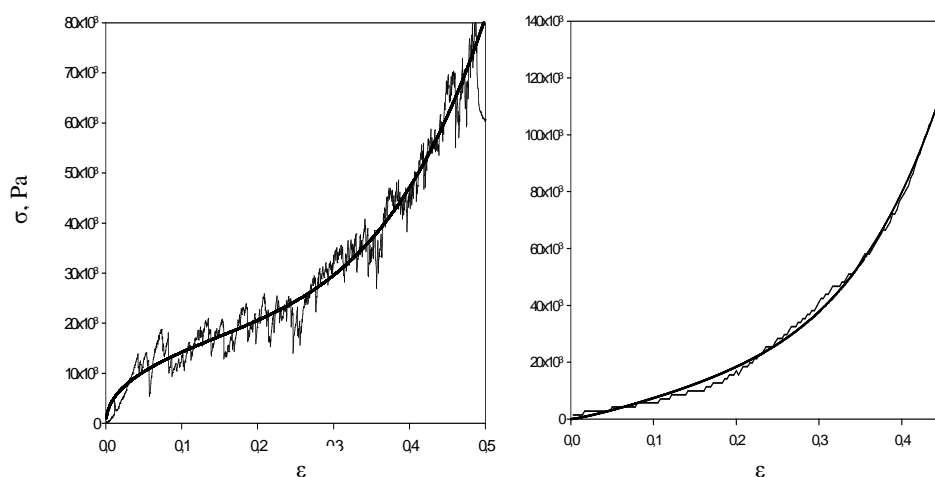


Rys. 3. Zależność naprężenia bezwymiarowego od odkształcenia rzeczywistego płatków o zróżnicowanej aktywności wody

Fig. 3. Relationship between dimensionless stress and strain of flakes at different water activity

Aktywność wody wpływa zarówno na stopień postrzępienia uzyskanych krzywych jak i na ich kształt. Uzyskane krzywe ściskania opisano równaniem zaproponowanym przez Pelega (1998) stosowanym do opisu krzywych ściskania materiałów kruchych w masie przez wielu badaczy. Stałe k_1 i k_2 tego równania wyrażone są w jednostkach naprężenia, stałe n_1 i n_2 są bezwymiarowe. Równanie to jest sumą dwóch parabol pierwsza z nich, o osi poziomej odgrywa dużą rolę w materiałach

o kruchych o niskiej aktywności wody. Druga, o osi pionowej dominuje gdy materiał na skutek sorpcji wody staje się plastyczny i podczas ściskania nie jest niszczone, ale jedynie upakowywany w cylindrze pomiarowym. Wzrost aktywności wody badanych płatków powodował zanik kształtu sigmoidalnego, czemu odpowiadał wzrost wartości stałej n_1 do wartości równej lub wyższej niż 1. Rysunek 4 przedstawia krzywe ściskania płatków kukurydzianych o aktywności wody 0,348 i płatków z otrąb pszennych o aktywności wody 0,661. Pierwszy jest przykładem krzywej charakterystycznej dla produktu chrupkiego o sigmoidalnym kształcie i znacznym postrzępieniu, drugi – krzywą w dużym stopniu wygładzoną, o kształcie wklęsłym.



Rys. 4. Krzywe ściskania płatków opisane równaniem Pelega. a) płatki kukurydziane o $a_w = 0,320$, b) płatki z otrąb pszennych o $a_w = 0,661$.

Fig. 4. Compression curves of investigated cereals approximated with Peleg equation. a) corn flakes at $a_w = 0.320$, b) wheat bran flakes $a_w = 0.661$

W tabeli 1 przedstawiono stałe k i n uzyskane z analizy regresji, dane te opisują zmiany kształtu uzyskanych krzywych. Do aktywności wody 0,650 dla płatków kukurydzianych i 0,577 dla płatków z otrąb pszennych krzywe ściskania miały wyraźnie sigmoidalny kształt co odpowiadało wartościom stałej n_1 z zakresu $0,581 \geq n_1 \geq 0,283$. Wzrost aktywności wody badanego produktu powodował stopniowy wzrost stałej n_1 , co odpowiadało przechodzeniu krzywej w prostą, a następnie w krzywą wklęsłą.

WNIOSKI

1. Aktywność wody istotnie wpływa na przebieg procesu niszczenia płatków zbożowych ściskanych w masie.
2. Aktywność wody badanych płatków ma istotny wpływ na postrzępienie krzywych ściskania. W miarę wzrostu aktywności wody płatków następuje stopniowe wygładzenie krzywych ściskania.
3. Krzywe ściskania płatków zbożowych mogą być opisane czteroparametrowym równaniem zaproponowanym przez Pelega.
4. Wzrost aktywności wody badanych płatków powoduje zmianę kształtu krzywych ściskania z sigmoidalnego we wklęsły, co odpowiada wzrostowi wartości stałej n_1 w równaniu Pelega do wartości zbliżonej do 1.

PIŚMIENNICTWO

- Barrett A. H., Normand M. D., Peleg, M., Ross E., 1992. Characterization of the jagged stress-strain relationships of puffed extrudates using the fast Fourier transform and fractal analysis, *Journal of Food Science*, 57, 227-235.
- Borges A., Peleg M., 1997. Effect of water activity on the mechanical properties of selected legumes and nuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75, 463-471.
- Fontanet I., Davidou S., Decremont C., Le Meste M., 1997. Effect of water on the mechanical behavior of extruded flat bread. *Journal of Cereal Science*, 25, 303-311.
- Gondek E., Lewicki P.P. 2006. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part II: Breakfast cereals. *Journal of Food Engineering*, 77 (2), 644-652.
- Nixon R., Peleg M., 1995. Effect of sample volume on the compressive force-deformation curves of corn flakes tested in bulk. *Journal of Texture Studies*, 26, 59-69.
- Nuebel C., Peleg M., 1993. Compressive stress-strain relationships of two puffed cereals in bulk, *Journal of Food Science*, 58, 1356-1374.
- Peleg M., 1998. Mechanical properties of dry brittle cereal products. W: *The Properties of Water in Foods ISOPOW 6* (ed. Reid E.). Blackie Academic & Professional, London, pp. 233-252.
- Saklar S., Urgan S., Katnas S., 1999. Instrumental crispness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlations with sensory assessment. *Journal of Food Science*, 64, 1015-1019.
- Suwonsichon T., Normand M., Peleg M., 1997. Estimation of the mechanical properties of individual brittle particles from their bulk compressibility. *Journal of Texture Studies*, 28, 673-686.
- Suwonsichon T., Peleg M., 1999. Instrumental and sensory detection of simultaneous brittleness loss and moisture toughening in three puffed cereals. *Journal of Texture Studies*, 29, 255-274.
- Swyngedau S., Nussinovitch A., Roy I., Peleg M., Huang V., 1991. Comparison of models for the compressibility of breads and plastic foams. *Journal of Food Science*, 56, 756-759.
- Tesch R., Normand M., Peleg M., 1996. Comparison of the acoustic and mechanical signatures of two cellular crunchy cereal foods at various water activity levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 347-352.
- Ulbricht D., Normand M. D., Peleg M. 1995. Creating typical jagged force-deformation relationships from the irregular and irreproducible compression data of crunchy foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67, 453-459.

INFLUENCE OF WATER ACTIVITY ON COMPRESSION CURVES
OF BREAKFAST CEREALS

Ewa Gondek, Piotr P. Lewicki

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: ewa_gondek@sggw.pl

Abstract. Corn and wheat bran flakes were equilibrated to water activities in the range of 0.075-0.865 and subjected to compression in bulk. The compression curves obtained in this work were typical for dry porous materials. At low water activity the compression curves were irregular, jagged and sigmoid shaped. At high water activity the curves were smooth and changed their shape from sigmoid to concave. Relationship between stress and strain was described by Peleg equation. The influence of water activity on the jaggedness of curves was presented as a function of dimensionless stress and strain.

Key words: breakfast cereals, mechanical properties, water activity