

Agata Zgódką, Andrzej Lenart

Wydział Technologii Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
SGGW, Warszawa

Wpływ składu surowcowego na właściwości mechaniczne kawy palonej mielonej

Streszczenie:

Przeprowadzono badania wpływu składu surowcowego kawy palonej mielonej na jej właściwości mechaniczne. Oceniano właściwości trzech rodzajów kaw: 100 % Robusta, 100% Arabika oraz Mieszanka składająca się w 75% z kawy Robusta i w 25% z kawy Arabika.

Analiza właściwości mechanicznych badanych kaw została przeprowadzona w teście bezpośredniego ścinania, który wykonano przy dwóch poziomach naprężenia konsolidującego 8,2 kPa i 15,6 kPa dla kaw różniących się składem surowcowym, sposobem pakowania i czasem przechowywania. Wykazano wpływ wszystkich tych czynników na właściwości mechaniczne kawy palonej mielonej. Kawa Robusta charakteryzuje się lepszymi właściwościami płynięcia niż kawa Arabika. Zaobserwowano także pogorszenie się właściwości mechanicznych kaw palonych mielonych podczas przechowywania, także w zależności od sposobu pakowania produktu.

Słowa kluczowe: kawa palona mielona, właściwości mechaniczne, test bezpośredniego ścinania, Robusta, Arabika

Oznaczenia:

σ_E - naprężenie konsolidujące (kPa)

f_c – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (kPa)

σ_1 - największe naprężenie ściskające (kPa)

C - kohezja (kPa)

δ_E - efektywny kąt tarcia wewnętrznego ($^\circ$)

φ - kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego ($^\circ$)

ff_c – czynnik płynięcia

Wstęp

Wiele materiałów ziarnistych, m.in. proszków i pyłów, zasadniczo zmienia swoją podatność na płynięcie w wyniku wywarcia na nie nacisku. Następuje wtedy tzw. skonsolidowanie materiału, w wyniku którego materiał zyskuje znaczną wytrzymałość na deformację. Przy tej samej konsolidacji różne materiały wykazują inną wytrzymałość. Wpływa to na charakter ich przepływu – bardziej wytrzymały materiał trudniej wypływa, niż materiał o mniejszej wytrzymałości (Schubert, 1987). W przemyśle spożywczym wiele surowców, półproduktów i wyrobów gotowych występuje w formie sypkiej (sproszkowanej). Warunkuje to właściwy dobór parametrów w czasie przetwarzania, pakowania, magazynowania i zagospodarowania przez odbiorcę czy konsumenta tego typu artykułów. Jednym ze znaczących produktów na rynku jest kawa palona mielona.

Wyróżnia się dwa gatunki kawy o znaczeniu handlowym: Coffea arabica (arabika) oraz Coffea canephora (robusta), a w obu istnieje wiele odmian.

Dwie trzecie ogólnej produkcji to arabika, która dzięki łagodniejszemu smakowi jest preferowana. Robusta zaś posiada wyższą odporność na choroby, zawiera też około dwukrotnie więcej kofeiny niż arabika (Kolanowski, 1998).

Najważniejszą z właściwości mechanicznych materiałów ziarnistych jest ich zdolność do płynięcia. Zjawisko to określa się jako ruch masy cząstek względem sąsiednich lub wzdłuż stykającej się z nimi powierzchni (Peleg, 1978a).

Największe znaczenie dla płynięcia materiału mają siły kohezji, będące wynikiem tworzenia się stałych połączeń między cząstkami (mostków stałych), łączenia się cząstek poprzez mostki płynne oraz molekularnego i elektrostatycznego oddziaływania między cząstkami (Schubert, 1987).

Funkcja płynięcia ff_c definiowana jest jako stosunek największego naprężenia ściskającego do wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Według Jenike (1964) proszki mogą być klasyfikowane zgodnie z ich zdolnością płynięcia w następujący sposób:

$ff_c \leq 2$	proszki bardzo kohezyjne, brak płynięcia
$2 < ff_c \leq 4$	proszki kohezyjne, trudno płynące
$4 < ff_c \leq 10$	proszki słabo kohezyjne, łatwo płynące
$10 < ff_c$	proszki niekohezyjne, swobodnie płynące

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza właściwości płynięcia kawy palonej mielonej w zależności od jej składu surowcowego, sposobu pakowania i czasu przechowywania. Zakres pracy obejmuje analizę zmienności poszczególnych parametrów mechanicznych przy dwóch różnych naprężeniach konsolidujących.

Metodyka

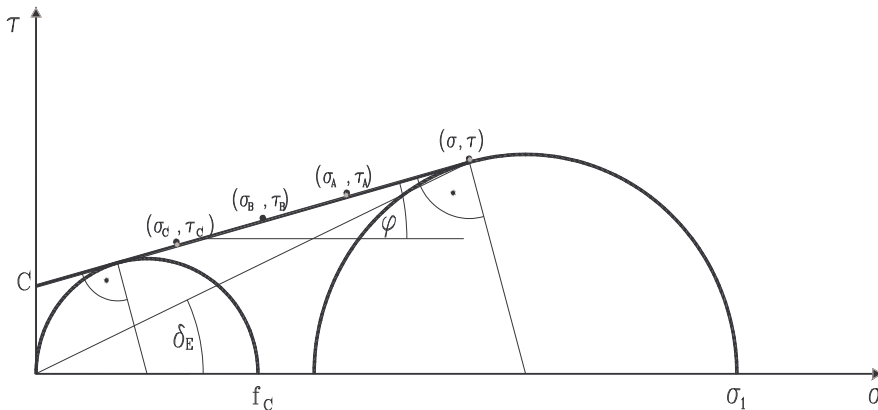
Badania wykonano na czterech produktach różniących się składem surowcowym i sposobem pakowania. Produktami tymi były:

- kawa 100% Robusta (*nazwa w pracy - Robusta*) pakowana próżniowo w opakowania 250g
- kawa 75% Robusta i 25% Arabika (*nazwa w pracy - Mieszanka*) pakowana próżniowo w opakowania 250g
- kawa 75% Robusta i 25% Arabika (*nazwa w pracy - Mieszanka*) pakowana w atmosferze gazu obojętnego (azotu) w opakowania 100g
- kawa 100% Arabika (*nazwa w pracy - Arabika*) pakowana próżniowo w opakowania 250g

Podczas wykonywania pomiarów właściwości płynięcia (Peleg, 1978b) kawy w celce pomiarowej poddano wstępnej konsolidacji przy naprężeniu normalnym σ_0 (rys.1.). Następnie przeprowadzono test ścinania w celu określenia naprężenia ścinającego τ_0 . Stan osiągniętej konsolidacji określa punkt (σ, τ) , będący punktem warunku plastyczności. Oddziaływano coraz mniejszym naprężeniem normalnym $\sigma_A, \sigma_B, \sigma_C$. Następnie przykładana była

siła ścinająca, aż do momentu ścięcia próbki, której odpowiadało naprężenie ścinające τ_A, τ_B, τ_C . Pomiary dla każdego punktu obejmowały konsolidację, a następnie ścinanie. Próbkę wszystkich badanych kaw poddane zostały testowi ścinania przy następujących maksymalnych naprężeniach konsolidujących: 8,2 i 15,6 kPa.

Kreśląc koła Mohra (rys.1.) wyznaczano wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie f_c , największe naprężenie ściskające σ_1 , efektywny kąt tarcia wewnętrznego δ_E i kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego φ (Schubert, 1987)



Rys.1. Schemat wyznaczania parametrów płynięcia materiałów sypkich na podstawie danych z testu bezpośredniego ścinania

Fig.1. Diagram for the determination of the parameters of loose-material flow on the basis of the data obtained from the test of direct shearing

Wyniki

Na podstawie wykonanych pomiarów określono wpływ składu surowcowego badanych kaw na ich właściwości mechaniczne przy naprężeniu konsolidującym 8,2 i 15,6 kPa.

Największą wytrzymałością materiału na jednoosiowe ściskanie (f_c) przy obydwu wartościach naprężenia konsolidującego σ_E charakteryzuje się kawa Arabika, a najmniejszą kawa Robusta. Wzrost naprężenia konsolidującego z 8,2 do 15,6 kPa zwiększa wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie f_c o 55% dla kawy Robusta, o 60% dla kawy Mieszanka i o 64% dla kawy Arabika (tab.1.). W kawie Mieszanka pakowanej w atmosferze gazu obojętnego wraz ze wzrostem σ_E wartość f_c wzrosła o około 53% wartości pierwotnej. Wartości f_c dla Mieszanki pakowanej próżniowo i w atmosferze gazu obojętnego są do siebie dosyć zbliżone i wynoszą odpowiednio 7,4 kPa i 7,8 kPa przy naprężeniu konsolidującym 8,2 kPa oraz 11,9 kPa dla obu opakowań przy naprężeniu konsolidującym 15,6 kPa.

Największe naprężenie ściskające σ_1 jest zbliżone dla wszystkich kaw i wynosi od 22,0 do 23,0 kPa przy mniejszym naprężeniu konsolidującym i od 42,1 do 44,5 kPa przy większym naprężeniu konsolidującym (tab.1.).

Niewielkie różnice między poszczególnymi kawami obserwuje się w wartościach efektywnego kąta tarcia wewnętrznego δ_E przy różnych

naprężeniach konsolidujących (tab.1.). Przy obu wartościach σ_E największą wartością kinetycznego kąta tarcia wewnętrznego charakteryzuje się kawa Arabika.

Wartość kinetycznego kąta tarcia wewnętrznego ϕ poszczególnych kaw zmieniała się wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego σ_E (tab.1.). Dla wszystkich kaw z wyjątkiem Mieszanki pakowanej próżniowo nastąpiło jego nieznaczne zwiększenie. Jednak różnice pomiędzy wielkością tego kąta dla poszczególnych kaw nie były duże.

We wszystkich kawach czynnik płynięcia ff_c uległ zwiększeniu wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego σ_E (tab.1.). Zarówno przy naprężeniu konsolidującym 8,2 kPa, jak i przy 15,6 kPa najmniejszą wartością czynnika płynięcia charakteryzuje się kawa Arabika, a największą kawa Robusta. Czynnik płynięcia ff_c kawy Robusta jest o 18,6 % większy od czynnika płynięcia ff_c kawy Arabika przy σ_E równym 8,2 kPa i o 31 % większy od czynnika płynięcia ff_c kawy Arabika przy σ_E równym 15,6 kPa.

Na podstawie czynnika płynięcia można stwierdzić, że kawą o najgorszych właściwościach płynięcia jest kawa Arabika, a o najlepszych kawa Robusta.

Wraz z upływem czasu przechowywania nastąpiły zmiany w wartościach wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie f_c badanych kaw. Po 3 miesiącach przechowywania wartości f_c dla kaw Robusta i Mieszanka nieznacznie się zmieniły (tab.1). Natomiast dla kawy Arabika wystąpił wzrost wartości f_c w tym okresie o 13,8% przy naprężeniu konsolidującym 8,2 kPa oraz o 1,8% przy naprężeniu konsolidującym 15,6 kPa. Wartości f_c dla kaw Robusta i Mieszanka w czasie zerowym i po 3 miesiącach były do siebie zbliżone. W tym przedziale czasowym kawa Arabika charakteryzowała się największymi wartościami naprężenia ustąpień zakłócenia. Po upływie 5 miesięcy wartości f_c dla kaw Robusta i Mieszanka wzrosły, a dla kawy Arabika zmalały.

Wartości największego naprężenia ściskającego σ_1 zmieniają się podczas przechowywania dla wszystkich kaw (tab.2.). Po upływie pięciu miesięcy przechowywania były one znacznie niższe niż w czasie zerowym.

Tab.1. Wpływ czasu przechowywania na właściwości mechaniczne badanych kaw

Tab.1. Influence of the carrier storage time on the mechanical properties of test coffees

Czas przech. [mies.]	Kawa pakowana próżniowo	Napężenie konsolidujące	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie	Największe napężenie ściskające	Kohezja	Efektywny kąt tarcia wewnętrzne	Kinetyczny kąt tarcia wewnętrzne	Czynnik płynięcia
		σ_E (kPa)	f_c (kPa)	σ_1 (kPa)	C (kPa)	δ_E (°)	φ (°)	ff_c
0	Robusta	8,2	7,2	22,0	1,9	42,7	33,8	3,1
		15,6	11,1	44,4	2,8	43,1	36,8	4,0
	Mieszanka	8,2	7,4	23,0	1,9	43,9	35,3	3,1
		15,6	11,9	42,1	3,1	42,1	34,8	3,5
	Arabika	8,2	8,9	23,0	2,4	44,9	34,1	2,6
		15,6	14,6	44,5	3,8	44,2	35,5	3,0
3	Robusta	8,2	7,1	22,4	1,9	43,1	34,5	3,1
		15,6	11,8	36,5	3,4	38,6	29,4	3,1
	Mieszanka	8,2	7,4	19,0	2,2	39,6	27,9	2,6
		15,6	11,6	35,1	3,5	37,5	27,9	3,0
	Arabika	8,2	10,2	21,6	2,9	44,8	30,5	2,1
		15,6	14,9	37,5	4,4	40,6	28,8	2,5
5	Robusta	8,2	8,5	20,4	2,5	42,2	29,6	2,4
		15,6	13,6	26,8	4,0	45,6	29,6	2,0
	Mieszanka	8,2	10,3	19,9	3,2	43,5	26,7	1,9
		15,6	13,6	37,1	4,0	39,8	29,0	2,7
	Arabika	8,2	8,9	20,5	2,6	42,6	29,6	2,3
		15,6	14,0	26,5	4,3	44,1	26,6	1,9

Efektywny kąt tarcia wewnętrznego δ_E po czasie 3 miesięcy zmniejszył się w porównaniu do wartości w czasie zerowym dla wszystkich kaw z wyjątkiem kawy Robusta przy σ_E 8,2 kPa (tab.2.). Po 5 miesiącach przechowywania jego wartość była dla większości kaw większa niż po 3 miesiącach. Wyjątkami były kawy Robusta i Arabika przy mniejszym obciążeniu konsolidującym.

Wartość kinetycznego kąta tarcia wewnętrznego φ większości kaw maleje wraz z upływem czasu przechowywania (tab.2.). Wyjątkiem jest wzrost wartości tego kąta z 33,8° w czasie zerowym do 34,5° (2,0%) po 3 miesiącach przy napężeniu konsolidującym σ_E 8,2 kPa i z 29,4° po 3 miesiącach do 29,6° (0,6%) po 5 miesiącach przy napężeniu konsolidującym σ_E 15,6 kPa dla kawy Robusta oraz z 27,9° po 3 miesiącach do 29,0° (4,2%) po 5 miesiącach dla kawy Mieszanka przy napężeniu konsolidującym σ_E 15,6 kPa.

Dla wszystkich kaw niezależnie od składu surowcowego wartość kohezji rośnie wraz ze zwiększającym się obciążeniem konsolidującym i z upływem czasu przechowywania. Parametry płynięcia badanych kaw pogarszają się wraz z upływem czasu przechowywania. Szybkość zmian poszczególnych parametrów zależy od składu surowcowego kawy. Na pogorszenie właściwości mechanicznych kaw podczas przechowywania miały wpływ najprawdopodobniej zachodzące w nich przemiany fizyko-chemiczne m.in. zmiany wilgotności i aktywności wody. Podobne wyniki otrzymali Tenou i Fitzpatrick (1999), którzy wykazali na przykładzie mąki pszennej, herbaty instant i proszku serwatkowego, że wzrost wilgotności danego materiału wpływa na pogorszenie jego właściwości płynięcia.

Tab.2. Wpływ sposobu pakowania na właściwości mechaniczne przechowywanej kawy

Tab.2. Influence of packaging methods on mechanical properties of the coffee being stored

Czas przech. [mies.]	Kawa pakowana próżniowo	Naprężenie konsolidujące σ_E (kPa)	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie f_c (kPa)	Największe naprężenie ścisające σ_1 (kPa)	Kohezja C (kPa)	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego δ_E (°)	Kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego φ (°)	Czynnik płynięcia ff_c
0	Mieszanka (próżn.)	8,2	7,4	23,0	1,9	43,9	35,3	3,1
		15,6	11,9	42,1	3,1	42,1	34,8	3,5
	Mieszanka (gaz oboj.)	8,2	7,8	22,3	2,1	43,4	33,8	2,9
		15,6	11,9	42,7	3,1	42,4	35,1	3,6
3	Mieszanka (próżn.)	8,2	7,4	19,0	2,2	39,6	27,9	2,6
		15,6	11,6	35,1	3,5	37,5	27,9	3,0
	Mieszanka (gaz oboj.)	8,2	8,1	21,3	2,2	42,8	31,9	2,6
		15,6	11,8	36,7	3,4	38,7	29,6	3,1
5	Mieszanka (próżn.)	8,2	10,3	19,9	3,2	43,5	26,7	1,9
		15,6	13,6	37,1	4,0	39,8	29,0	2,7
	Mieszanka (gaz oboj.)	8,2	9,1	14,2	2,9	48,4	25,2	1,6
		15,6	12,4	26,2	3,7	42,7	27,7	2,1

Wraz z upływem czasu przechowywania nastąpiły zmiany właściwości mechanicznych badanej kawy w zależności od sposobu pakowania (tab.2.). Po upływie 3 miesięcy dla kawy pakowanej próżniowo wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie f_c nieznacznie zmalało przy obu obciążeniach konsolidujących. W kawie pakowanej w atmosferze gazu obojętnego f_c wzrosło o 4,4% przy mniejszym naprężeniu konsolidującym, a zmalało o 0,9% przy większym. Dużo większe zmiany w wartościach f_c zaobserwowano w przedziale czasowym 3-5 miesięcy. Dla kawy pakowanej próżniowo wartość wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie f_c przy naprężeniu konsolidującym 8,2 kPa wzrosła o 38,1% w stosunku do f_c po czasie

3 miesięcy, a o 37,7 % w stosunku do f_c w czasie zerowym. Przy naprężeniu konsolidującym 15,6 kPa różnice w tych wartościach wynosiły odpowiednio 16,6 % i 14,0%. Dla kawy pakowanej w atmosferze gazu obojętnego wartość f_c także wzrosła, ale różnice te są nieznacznie mniejsze. Widoczna jest silniejsza tendencja zmian wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie f_c dla kawy pakowanej próżniowo.

Dla obu sposobów pakowania kawy przy dwóch naprężeniach konsolidujących wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego δ_E (tab.2.) zmniejszają się w okresie 0 do 3 miesięcy i ponownie rosną w czasie 3 do 5 miesięcy osiągając wartości dość zbliżone do początkowych. Jedynie wartość efektywnego kąta tarcia wewnętrznego δ_E dla kawy pakowanej w gazie obojętnym dla większego obciążenia konsolidującego jest po upływie 5 miesięcy wyraźnie większa (11,4%) niż na początku.

Wartość kinetycznego kąta tarcia wewnętrznego φ obu kaw maleje wraz z upływem czasu przechowywania (tab.2.). Wyjątkiem jest wzrost wartości tego kąta z 27,9° po 3 miesiącach do 29,0° po 5 miesiącach przy naprężeniu konsolidującym σ_E 15,6 kPa dla kawy pakowanej próżniowo. Sposób zmniejszania się wartości tego kąta jest zależny od sposobu pakowania kawy i stosowanego obciążenia konsolidującego.

Zmiany zachodzące w kawie podczas przechowywania zależą także od sposobu pakowania. Właściwości mechaniczne kawy Mieszanka pakowanej próżniowo i w gazie obojętnym pogarszają się wraz z upływem czasu przechowywania, jednakże w różny sposób. Nie obserwuje się dużych zmian w wytrzymałości kawy na jednoosiowe ściskanie w obu opakowaniach po

pierwszych trzech miesiącach przechowywania. Natomiast po upływie następnych dwóch miesięcy zmiany te są już wyraźne i większą wytrzymałością materiału na jednoosiowe ściskanie charakteryzuje się kawa Mieszanka pakowana próżniowo. Pomimo większej początkowej kohezji kawy Mieszanka pakowanej w gazie obojętnym, wynikającej najprawdopodobniej z niewielkich różnic w składzie granulometrycznym kaw, po pięciu miesiącach przechowywania kawa pakowana próżniowo charakteryzuje się większą wartością kohezji. Szybkość zmian w kawie pakowanej próżniowo jest bardziej równomierna. Widoczna jest więc wyraźna korelacja pomiędzy rosnącą zawartością wody w produkcie, a jego pogarszającymi się właściwościami mechanicznymi. Początkowo kawa pakowana próżniowo lepiej płynęła, po trzech miesiącach wartości współczynnika płynięcia obu kaw były podobne, a po pięciu miesiącach znowu lepsze właściwości płynięcia miała kawa pakowana próżniowo, pomimo większej kohezji.

Wnioski

Test bezpośredniego ścinania pozwolił scharakteryzować właściwości płynięcia badanych kaw palonych mielonych przy wysokich naprężeniach konsolidujących od 8,2 do 15,6 kPa. Badane kawy można zakwalifikować do grupy proszków kohezyjnych, trudno płynących. Najlepsze właściwości płynięcia ma kawa Robusta, a najgorsze kawa Arabika.

Na zmiany właściwości mechanicznych kaw palonych mielonych w trakcie ich przechowywania ma wpływ także sposób pakowania. W kawie pakowanej próżniowo obserwuje się ogólnie bardziej wyraźne pogorszenie właściwości mechanicznych po pięciomiesięcznym przechowywaniu, niż w kawie pakowanej w gazie obojętnym. W obu kawach kohezja ulega zwiększeniu wraz z upływem czasu przechowywania.

Bibliografia

Jenike A.W. (1964): Storage and flow of solids, 123, Utah Engineering Experiment Station (maszynopis; tłum. z jęz.ang)

Kolanowski W. (1998): Kawa – charakterystyka i znaczenie zdrowotne, Żywność, Żywnienie a Zdrowie, 3

Peleg M. (1978a): Characterisation of the stress relaxation curves of solid foods, Journal of Food Science, 1, 277 – 281

Peleg M. (1978b): Flowability of food powders and methods for its evaluation – a review, Journal of Food Science, 1, 303 – 328

Schubert H. (1987): Food Particle Technology Part I: Properties of Particles and Particulate Food Systems, Journal of Food Engineering, 6,1, 1-32

Teunou E. i Fitzpatrick J.J. (1999): Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability, *Journal of Food Engineering* 42, 109–116

Influence of row-material content on mechanical properties of ground roasted coffee

Summary

The research was carried out in order to examine the influence of ground coffee components on its mechanical factors. There were 3 types of coffee examined: 100% Robusta coffee, 100% Arabica coffee and 100% Compound consisting of 75% Robusta coffee and 25% Arabica coffee.

The analysis of mechanical factors was carried out in the shear test that was done at 2 levels of consolidation stress for the types of coffee different in raw materials, packing method and storing time. The influence of the above on mechanical factors of ground coffee was proved. Robusta coffee has got better flowability than Arabica coffee. The worsening of mechanical factors of ground coffee while storing was observed and it depends on packing method as well.

Keywords: ground roasted coffee, mechanical properties, test of direct shearing, Robusta, Arabica