

## WPLYW SPOSOBU SUSZENIA NA PLYNIĘCIE KAW ROZPUSZCZALNYCH

*Ewa Domian, Tomasz Koper, Andrzej Lenart*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, SGGW  
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159c  
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

**Streszczenie.** W pracy badano właściwości płynięcia dwóch rodzajów kawy, suszonej rozpyłowo i aglomerowanej oraz suszonej sublimacyjnie przy dwóch poziomach aktywności wody materiału. Pomiar właściwości płynięcia kaw wykonano z wykorzystaniem kohezjometru pierścieniowego przy czterech poziomach naprężenia konsolidującego z zakresu 1,3-2,5 kPa według procedury pomiarowej bezpośredniego ścinania zgodnej z teorią Jenike. Dla badanych kaw wyznaczono parametry plastycznego płynięcia, takie jak kohezja, kąt tarcia wewnętrznego, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, funkcja płynięcia oraz zaproponowano geometrię zbiorników umożliwiającą grawitacyjny wypływ badanych kaw.

**Słowa kluczowe:** funkcja płynięcia, test ścinania, kawa rozpuszczalna

### WYKAZ OZNACZEŃ

- $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego ( $^{\circ}$ ),
- $\delta$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego ( $^{\circ}$ ),
- $C$  – kohezja (Pa),
- $\sigma_E$  – naprężenie konsolidujące (Pa),
- $\sigma_1$  – największe naprężenie konsolidujące (Pa),
- $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (Pa),
- $ff_c$  – indeks płynięcia – stosunek  $\sigma_1/\sigma_c$  (-),
- $FF$  – funkcja płynięcia (-),
- $\rho$  – gęstość nasypowa ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),
- $d$  – średnica otworu spustowego (m),
- $\theta$  – kąt nachylenia lejka ( $^{\circ}$ ),
- $d_{50}$  – średnia średnica cząstek (mm).

## WSTĘP

Kawa rozpuszczalna wykazuje właściwości typowe dla suszonej żywności w proszku – tendencję do zbrylania, higroskopijność, podatność na odkształcenia mechaniczne. Bezpośrednią konsekwencją tego mogą być problemy z obrotem tym produktem, utrudnienia w transporcie, pakowaniu i magazynowaniu. Właściwości mechaniczne złoża materiału sypkiego, szczególnie zdolność do płynięcia uzależnione są od procesu technologicznego i warunków, w jakich cząstki były tworzone np. sposób i parametry suszenia, jak również od warunków składowania materiału sypkiego, szczególnie z uwzględnieniem ciśnienia statycznego złoża i czasu oraz wilgotności i temperatury.

Obrót materiałami w proszku to całość procesów związanych zarówno z ich produkcją, magazynowaniem jak i transportem [5]. Podczas obrotu proszki poddawane są działaniu wielu sił powodujących odkształcenia i niszczenie struktury materiałów ziarnistych. Istotną z punktu widzenia technologii przetwórstwa cechą materiałów ziarnistych stanowi ich zdolność płynięcia. Problemy związane z obrotem proszkami wynikają z zakłóceń w ich przepływie. Do najczęściej występujących zakłóceń zalicza się zasklepienie otworu wylotowego zbiornika oraz przepływ niepełny. Materiał tworzący nad wylotem zbiornika trwałe sklepienie lub kopułę posiada pewną wytrzymałość, zależną od stopnia jego konsolidacji. W miarę wzrostu ciśnienia konsolidującego jego wytrzymałość ulega zwiększeniu. Przy tym samym stopniu konsolidacji różne materiały wykazują różną wytrzymałość. Wpływa to z kolei na charakter ich przepływu: bardziej wytrzymały materiał wypływa trudniej niż materiał o niskiej wytrzymałości [8,6].

Przyczyną tworzenia mostów i nawisów z materiału sypkiego bezpośrednio nad otworem wylotowym jest zazwyczaj błędna geometria otworu wylotowego, jego zbyt mała średnica albo kąt nachylenia leja spustowego. Zapobieganie występowaniu wyżej wymienionych zjawisk związane jest z tworzeniem warunków grawitacyjnego wypływu materiału w całej masie, zapewniających równomierne opróżnianie zbiornika w czasie [10]. Geometria zbiornika zapewniająca grawitacyjny przepływ masowy musi uwzględniać właściwości mechaniczne materiału sypkiego [13].

Do określenia właściwości płynięcia proszków, niezbędną staje się symulacja warunków, jakie panują w zbiorniku. Metodą najbardziej przydatną są badania bezpośredniego ścinania. Wielkości uzyskane z testów ścinania, według teorii płynięcia proszków Jenike [4], pozwalają określić parametry plastycznego płynięcia materiałów sypkich z wystarczającą dokładnością do praktycznego zastosowania i przewidzieć charakter płynięcia badanego materiału sypkiego. Parametry te określają warunki w jakich materiał sypki przestaje zachowywać się jak ciało stałe i staje się podobny do cieczy [9,12]. Do parametrów plastycznego płynięcia należą: kąt tarcia wewnętrznego w materiale, efektywny kąt tarcia (miara tarcia wewnętrznego uwzględniającego ko-

hezę), wytrzymałość proszku na odkształcenia, kohezja, kąt tarcia o ściany zbiornika, gęstość nasypowa. Wyżej wymienione wielkości zależne są od poziomu naprężenia normalnego [1]. Wyniki badań natomiast są zależne nie tylko od cech materiału, ale i przyjętej procedury i aparatury badawczej [2,7].

Parametry plastycznego płynięcia umożliwiają wyznaczenie minimalnego kąta nachylenia oraz średnicy krytycznej otworu spustowego dla konkretnych typów geometrii zbiornika, przy których materiał powinien charakteryzować się wypływem masowym [11]. Jako charakterystyka sypkości szerokie uznanie zyskała funkcja płynięcia  $FF$  wprowadzona przez Jenike [4], będąca zależnością wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie  $\sigma_c$  od największego naprężenia konsolidującego  $\sigma_1$ . Funkcja płynięcia  $FF$  charakteryzuje zdolność materiału do zakłóceń swobodnego wypływu ze zbiorników pod wpływem sił grawitacji i wykorzystywana jest przy projektowaniu zbiorników. Ponadto, wyniki testów bezpośredniego ścinania umożliwiają porównanie jakościowe różnych materiałów sypkich, na podstawie parametru zaproponowanego przez Jenike i Carson [3]. Parametrem tym jest indeks płynięcia  $ff_c$ , obliczany jako stosunek  $\sigma_1 / \sigma_c$ . Materiały sypkie mogą być klasyfikowane zgodnie z ich zdolnością do płynięcia na podstawie wartości indeksu płynięcia  $ff_c$  w następujący sposób: bardzo kohezyjne, brak płynięcia ( $ff_c < 2$ ); kohezyjne, trudno płynące ( $2 < ff_c < 4$ ); słabo kohezyjne, łatwo płynące ( $4 < ff_c < 10$ ); niekohezyjne, sypkie, swobodnie płynące ( $10 < ff_c$ ).

#### CEL I ZAKRES

Celem pracy była analiza właściwości mechanicznych kaw rozpuszczalnych (suszonej rozpyłowo, aglomerowanej i suszonej sublimacyjnie) badanych przy dwóch poziomach aktywności wody materiału – standardowej (handlowej) i nawodnionej. Zakres pracy obejmował:

- analizę wpływu sposobu suszenia i aktywności wody kaw instant na parametry plastycznego płynięcia wyznaczone metodą bezpośredniego ścinania w aparacie pierścieniowym w zakresie naprężeń konsolidujących 1,3-2,5 kPa;
- określenie geometrii zbiorników na badane kawy w zakresie średnicy otworu spustowego oraz kąta nachylenia leja spustowego przy założonej maksymalnej wysokości złoża kawy w zbiorniku wynoszącej około 2 m.

#### MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowiła kawa rozpuszczalna: suszona rozpyłowo i aglomerowana oraz suszona liofilizacyjnie. Aktywność wody oraz zawartość wody kawy aglomerowanej i liofilizowanej wynosiła odpowiednio: 0,16 i 0,12 oraz 3,1 i 3,3 g wody-(100 g s.s.)<sup>-1</sup> dla kaw standardowych; 0,45 i 0,40 oraz 7,5 i 9,5 g wody-(100 g s.s.)<sup>-1</sup>

dla kaw nawodnionych. Poziom nawodnienia kaw wyznaczał granicę sypkości po przekroczeniu której, badane kawy ulegały zbrylaniu.

Testy bezpośredniego ścinania przeprowadzono z wykorzystaniem kohezjometru pierścieniowego RST-01.01 do ścinania materiałów ziarnistych przystosowanego do procedury pomiarowej zgodnej z teorią Jenike. Do konsolidacji próbki kawy stosowano naprężenie normalne 1,3-2,5 kPa. Badanie ścinania kaw przeprowadzono w Katedrze Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego Politechniki Monachijskiej (Technische Universität München).

Obliczenia dotyczące wyznaczenia krzywych płynięcia, parametrów plastycznego płynięcia jak i krytycznych parametrów silosów dokonane zostały w autorskim programie komputerowym RSV<sup>®</sup> dla Windows firmy Schulze.

Dla badanych kaw wyznaczono następujące parametry plastycznego płynięcia:  $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego,  $\delta$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,  $C$  – kohezję  $\sigma_1$  – naprężenie główne konsolidujące,  $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie,  $ff_c$  – indeks płynięcia (stosunek  $\sigma_1/\sigma_c$ ),  $\rho$  – gęstość nasypowa materiału skonsolidowanego,  $\varphi_v$  – kąt tarcia na ściany zbiornika.

Obliczenia zbiorników dotyczyły wyznaczenia średnicy otworu spustowego  $d$  i kąta nachylenia leja  $\theta$  dla zbiornika cylindrycznego ze stożkowym lejem spustowym (konusem).

## WYNIKI

Badane kawy instant – aglomerowana i liofilizowana o standardowej (handlowej) aktywności wody są proszkami higroskopijnymi i sypkimi w stanie luźnym, nieskonsolidowanym. Zakres wielkości cząstek badanych kaw i średnia średnica  $d_{50}$  wynosiły odpowiednio: 0,315-3,15 mm dla kawy aglomerowanej przy wartości  $d_{50}$  0,72 mm, oraz 0,5-2,5 mm przy wartości  $d_{50}$  1,28 mm dla kawy liofilizowanej.

Badane kawy wykazują różne właściwości płynięcia. Ogólnie, wartości parametrów plastycznego płynięcia zależą od rodzaju kawy, stopnia jej nawodnienia oraz przyjętego poziomu naprężeń konsolidujących (tab. 1).

Zarówno kinetyczny  $\varphi$  jak i efektywny kąt tarcia wewnętrznego  $\delta$  jest stały, charakterystyczny dla danej kawy, niezależny od wielkości naprężenia konsolidującego i aktywności wody. Średni efektywny kąt tarcia wewnętrznego  $\delta$  dla kawy aglomerowanej standardowej i nawodnionej wynosi odpowiednio 44 i 42°, a dla kawy liofilizowanej standardowej i nawodnionej 40 i 42°. Kąt  $\delta$  uwzględnia wzrost kohezji w materiale sypkim podczas konsolidacji. Wartości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego  $\delta$  są wyższe od wartości kinetycznego kąta tarcia wewnętrznego  $\varphi$  o 5-9 stopni w przypadku kawy aglomerowanej i o 1-5 stopni w przypadku kawy liofilizowanej, zależnie od poziomu naprężenia konsolidującego  $\sigma_E$ . Wielkości kinetycznego kąta tarcia są niższe w przypadku kawy aglomerowanej w porównaniu z kawą liofilizowaną (tab. 1).

WPLYW SPOSOBU SUSZENIA NA PLYNIĘCIE KAW ROZPUSZCZALNYCH

Kawa aglomerowana standardowa i nawodniona, niezależnie od stopnia konsolidacji spowodowanej naprężeniem konsolidującym  $\sigma_E$ , charakteryzuje się wyższą kohezynością w porównaniu z kawą liofilizowaną. Różnice w wartości kohezji pomiędzy kawą aglomerowaną i kawą liofilizowaną maleją wraz ze wzrostem  $\sigma_E$  i wynoszą: 570% (dla  $\sigma_E = 1259$  Pa), 130% (dla  $\sigma_E = 1675$  Pa), 60% (dla  $\sigma_E = 2092$  i  $\sigma_E = 2508$  Pa) dla kaw o standardowej aktywności wody oraz 108% (dla  $\sigma_E = 1675$  Pa), 170% (dla  $\sigma_E = 2092$  Pa), 34% (dla  $\sigma_E = 2508$  Pa) dla kaw nawodnionych. Nawilżenie kawy aglomerowanej i liofilizowanej wpływa na obniżenie wartości kohezji przy niższych poziomach naprężenia konsolidującego  $\sigma_E$  oraz na podwyższenie przy wyższych poziomach  $\sigma_E$ .

**Tabela 1.** Parametry plastycznego plynienia badanych kaw instant dla 4 naprężeń konsolidujących  $\sigma_E$   
**Table 1.** Flow parameters of tested materials for 4 normal stress consolidating  $\sigma_E$

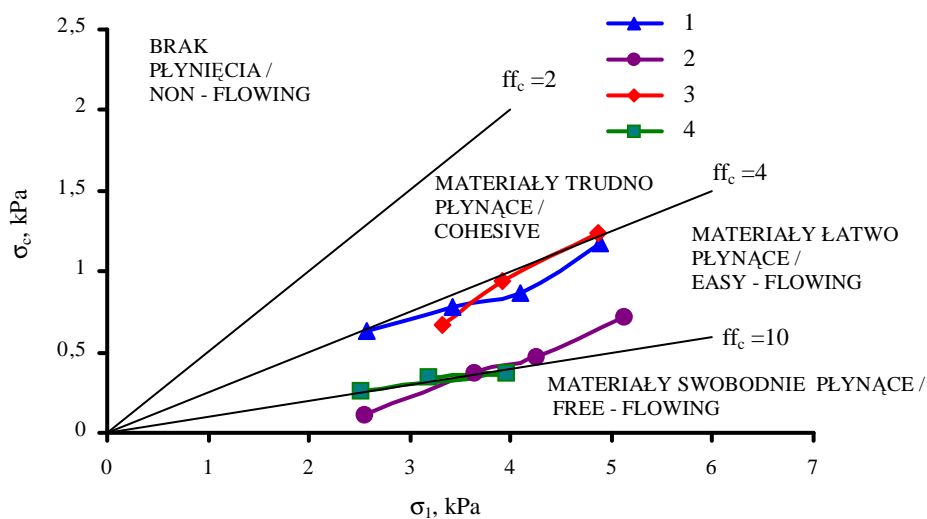
Kawa Instant Instant coffee	$N$ (kg)	$\sigma_E$ (Pa)	$\rho$ (kg·m <sup>-3</sup> )	$\varphi$ (°)	$\delta$ (°)	$C$ (Pa)	$\sigma_c$ (Pa)	$\sigma_1$ (Pa)	$ff_c$ (-)
Aglomerowana standard	3	1259	229	35	44	174	637	2567	4,0
	4	1675	263	37	44	204	785	3412	4,4
Spray dried and agglomerated standard	5	2092	271	38	43	210	863	4103	4,8
	6	2508	262	36	43	292	1172	4877	4,2
Liofilizowana standard	3	1258	227	39	40	26	109	2559	23,0
	4	1675	228	39	40	90	374	3633	9,8
Freeze-dried standard	5	2092	232	37	39	133	474	4253	9,2
	6	2508	229	37	40	182	720	5119	7,2
Aglomerowana nawodniona	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1676	277	37	42	166	674	3318	4,9
Spray dried and agglomerated moistened	5	2092	267	36	42	240	936	3906	4,3
	6	2509	285	36	43	314	1238	4859	3,9
Liofilizowana nawodniona	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1675	256	39	42	80	341	3185	9,4
Freeze-dried moistened	5	2092	252	40	42	89	375	3951	10,9
	6	2509	252	37	42	234	266	2510	9,5

$N$  – obciążenie konsolidujące,  $\sigma_E$  – naprężenie konsolidujące,  $\delta$  – gęstość nasypowa,  $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego,  $\varphi_E$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,  $C$  – kohezja,  $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie,  $\sigma_1$  – największe naprężenie konsolidujące,  $ff_c$  – indeks plynienia.

$N$  – consolidating load,  $\sigma_E$  – normal consolidating stress,  $\delta$  – bulk density,  $\varphi$  – kinetic angle of internal friction,  $\varphi_E$  – effective angle of internal friction,  $C$  – cohesion,  $\sigma_c$  – unconfined yield strength,  $\sigma_1$  – major consolidating stress,  $ff_c$  – flow index.

Dla badanych kaw instant wartości kohezji rosną wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego. W przypadku kaw o standardowej aktywności wody w zakresie naprężenia konsolidującego  $\sigma_E$  od 1675 do 2508 Pa wzrost kohezji jest na poziomie 43% dla kawy aglomerowanej i 100% dla kawy liofilizowanej. Dla kaw nawodnionych wzrost kohezji w analogicznym zakresie  $\sigma_E$  jest bardziej znaczący i wynosi 90% dla kawy aglomerowanej i 200% dla kawy liofilizowanej (tab. 1).

Kawa aglomerowana, zarówno standardowa jak i nawodniona, w porównaniu z kawą liofilizowaną charakteryzuje się wyższą wytrzymałością  $\sigma_c$ , niezależnie od poziomu naprężenia konsolidującego  $\sigma_E$ . Dla kaw o standardowej aktywności wody różnica pomiędzy wartościami wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie  $\sigma_c$  dla kawy aglomerowanej i kawy liofilizowanej maleje wraz ze wzrostem  $\sigma_E$  od 480% (dla  $\sigma_E = 1259$  Pa) do 58% (dla  $\sigma_E = 2508$  Pa). Dla kaw nawodnionych różnica pomiędzy wartościami wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie  $\sigma_c$  dla kawy aglomerowanej i kawy liofilizowanej rośnie wraz ze wzrostem  $\sigma_E$  od 95% (dla  $\sigma_E = 1675$  Pa) do 465% (dla  $\sigma_E = 2508$  Pa). Nawodnienie kawy aglomerowanej wiąże się z podwyższeniem wytrzymałości  $\sigma_c$  tej kawy, podczas gdy nawodnienie kawy liofilizowanej wpływa na obniżenie  $\sigma_c$ .



**Rys. 1.** Funkcja płynięcia badanych kaw rozpuszczalnych: 1 – aglomerowana standard, 2 – liofilizowana standard, 3 – aglomerowana nawodniona, 4 – liofilizowana nawodniona

**Fig. 1.** Flow functions of tested instant coffee: 1 – spray dried and agglomerated, standard, 2 – freeze-dried standard, 3 – spray dried and agglomerated, moistened, 4 – freeze-dried moistened

Na rysunku 1 przedstawiono funkcje plynienia badanych kaw instant oraz zobrazowano rozklad zdolnosci do plynienia badanych kaw, dzielac obszar wykresu na czesci odpowiadajace granicznym wartosciom indeksu plynienia  $ff_c$ , zgodnie z kryterium podanym przez Jenike [3]. Indeks plynienia  $ff_c$  dla badanych kaw instant w stosowanym przedziale naprężenia konsolidujacego zmienial sie w nastepujacych zakresach: dla aglomerowanej standardowej 4-4,8; dla liofilizowanej standardowej 7,2-23, dla aglomerowanej nawodnionej 3,9-4,9; dla liofilizowanej nawodnionej 9,4-10,9 (tab. 1). Funkcje plynienia  $FF$  kaw aglomerowanych leza w obszarze  $4 < ff_c < 10$ , natomiast funkcje plynienia kaw liofilizowanych leza calkowicie i prawie calkowicie w obszarze  $10 < ff_c$ , co klasyfikuje badane materialy sypkie nastepujaco:

- kawa aglomerowana (standardowa i nawodniona) – proszki slabo kohezyjne, latwo plynace;
- kawa liofilizowana (standardowa i nawodniona) – proszki niekohezyjne lub slabo kohezyjne, sypkie, swobodnie lub latwo plynace w zaleznosci od wielkosci naprężenia konsolidujacego.

Wyznaczone parametry plynienia pozwalaja na obliczenie geometrii zbiornikow umozliwiajacej grawitacyjny wyplyw kaw instant. Obliczono wielkosci otworow spustowych dla silosu cylindrycznego ze stożkowym konusem.

Zbiornik dla standardowej kawy aglomerowanej powinien charakteryzowac sie srednica otworu spustowego  $d$  0,240 m, przy kacie nachylenia scianek leja spustowego  $\theta$  wynoszacym  $27,5^\circ$ . Krytyczna wartosc gestosci kawy w zbiorniku nie powinna przewyzszac  $280 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Kawa aglomerowana o aktywnosci wody rzędu 0,45 wymaga zbiornika o nachyleniu scian leja spustowego  $\theta$  w granicach  $33,5^\circ$ , przy krytycznej gestosci materialu w zbiorniku wynoszacej  $253 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  i srednicy otworu spustowego  $d$  wynoszacej 0,425 m.

Kawa liofilizowana o standardowej aktywnosci wody wymaga silosu o leju spustowym nachylonym wzgledem osi zbiornika  $\theta$  o  $30^\circ$ , srednicy otworu wyplywowego  $d$  minimum 0,385 m, gestosci materialu w zbiorniku nie przekraczajacej  $180 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nawodniona kawa liofilizowana wymaga mniejszego kata nachylenia scianek leja  $\theta$  –  $28^\circ$ , srednicy otworu wyplywowego  $d$  nie mniejszej niz 0,353 m oraz gestosci materialu w zbiorniku nie wiekszej niz  $254 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Krytyczne wartosci gestosci badanych kaw okreslaja maksymalna wysokość zloza kawy w zbiorniku, ktora dla kawy liofilizowanej wynosi 0,77 i 1,07 m odpowiednio dla kawy nawodnionej i standardowej, a dla kawy suszonej rozpylowo i aglomerowanej nie powinna przekraczac odpowiednio 0,9 i 0,94 m.

## WNIOSKI

1. Parametry plastycznego płynięcia, uzyskane z testów jednoosiowego ścinania i charakteryzujące właściwości płynięcia badanych kaw instant, zależą od sposobu suszenia kawy, aktywności wody i przyjętego poziomu naprężeń konsolidujących.

2. Funkcja płynięcia i wartości indeksów płynięcia dają podstawy do określenia kaw o standardowej aktywności wody 0,12-0,16 jako bezkohezyjne, swobodnie płynące (kawa liofilizowana) lub słabo kohezyjne, łatwo płynące (kawa suszona rozpyłowo, aglomerowana). Nawodnienie kaw instant do aktywności wody 0,40-0,45 nieznacznie pogarsza ich właściwości płynięcia.

3. Niezależnie od sposobu suszenia kawy i stopnia jej nawodnienia wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego maleje indeks płynięcia, wzrasta wytrzymałość materiału, kohezja i gęstość kawy.

4. Wyznaczone parametry płynięcia pozwalają na obliczenie geometrii zbiorników umożliwiającej grawitacyjny wypływ kaw instant. Maksymalna wysokość złoża w zbiorniku wynosi dla kawy liofilizowanej: 0,77 i 1,07 m odpowiednio dla kawy nawodnionej i standardowej, a dla kawy suszonej rozpyłowo, aglomerowanej nie powinna przekraczać odpowiednio 0,90 i 0,94 m.

## PODZIĘKOWANIA

Autorzy pragną wyrazić podziękowania prof. Karlowi Sommerowi oraz Dpl. Ing Gerhardowi Niederreiterowi z Katedry Maszynoznawstwa Przemysłu Spożywczego Politechniki Monachijskiej za pomoc w realizacji niniejszych badań.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Borg, L.:** Einfluss des Wandmaterials auf das Auslaufverhalten von Schüttgütern aus Silos. Chem.-Ing.-Techn., 7, 58, 1986.
2. **Horabik, J.:** Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesie składowania. Monografia, Acta Agrophysica, 54, 2001.
3. **Jenike A. W., Carson J.:** Measurement principles of the flowability of powders. Advance Ceramic 21, 759-766, 1985.
4. **Jenike A.W.:** Storage and flow of solids. Bulletin No. 123 Engineering and Experiment Station 53 (26), University of Utah, USA, 1964.
5. **Knowlton T. M., Carson J. W., Klinzing G. E., Yang W. C.:** The importance of storage, transfer and collection. Chemical Engineering Progress, 90, 44-54, 1994.
6. **Schubert H.:** Food Particle Technology. Part I: Properties of Particles and Particulate Food Systems. Journal of Food Engineering, 6 (1), 1-32, 1987.
7. **Schulze D.:** Measuring powder flowability: a comparison of test methods Part I and II. Powder and Bulk Engineering, 10, 45-61, 17-28, 1996.



8. **Schulze D.:** Vergleich des Fließverhaltens leicht fließender Schüttgüter. Schüttgut, 3, 347-356, 2000.
9. **Schwedes J.:** Measurement of flow properties of bulk solids. Powder Technology, 88, 285-290, 1996.
10. **Schwedes J.:** Consolidation and flow of cohesive bulk solids. Chemical Engineering Science, 57, 287-294, 2002.
11. **Stieß, M.:** Lagern und Fliesen von Schüttgutern. In: Mechanische Verfahrenstechnik, 1, Hrsg Aufl. Berlin *et al.*, 1992.
12. **Teunou E., Fitzpatrick J.J., Synnott E. C.:** Characterisation of food powder flowability. Journal of Food Engineering, 39, 31-37, 1999.
13. **Westermayr P.D.:** Projektierung einer industriellen Siloanlage für Schüttgüter im Lebensmittelbereich. Diplomarbeit, Technische Universität München, Lehrstuhl für Maschinenbau und Apparatekunde, 2001.

## EFFECT OF DRYING METHOD ON INSTANT COFFEE FLOWABILITY

*Ewa Domian, Tomasz Koper, Andrzej Lenart*

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University  
02-787 Warszawa , ul. Nowoursynowska 159c  
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

**Abstract.** In this paper the flow properties for two kinds of instant coffee (spray dried and agglomerated or freeze-dried) were determined. Powder flowability was measured using an annular shear tester according to Jenike procedure at four levels of normal consolidating stress at the range of 1.3-2.5 kPa. Different flow parameters (cohesion, angle of internal friction, unconfined yield strength, flow function) are calculated for each of the instant coffee. They are then applied to estimating and comparing the critical hopper dimensions for mass flow for each powder.

**Keywords:** flow function, shear test, instant coffee