

Niestabilność ruchu proszku w bębnie obrotowym jako miara jego zdolności płynięcia

Streszczenie

Analizowano zachowanie się swobodnego złoza proszku w zamkniętym, wolno obracającym się poziomym bębnie pomiarowym. Zmiany wysokości złoza w płaszczyźnie osi obrotu interpretowano w oparciu o metody opisu zjawisk chaotycznych. Stwierdzono, że podczas obrotu bębna następowało osypywanie się (lawinowanie) złoza, którego częstotliwość i amplituda zależała od rodzaju materiału.

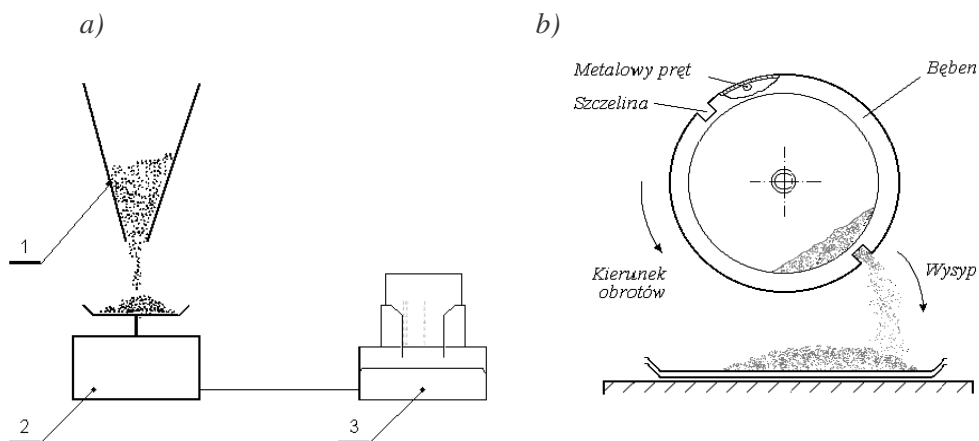
Słowa kluczowe: proszek, zdolność płynięcia, sypkość, flowability, chaos

Oznaczenia

d_{50}	średni wymiar cząstek, mm	t	czas, s
h	wysokość złoza (w pikselach)	T	stała czasowa wysypu, s
HR	współczynnik Hausnera	α	kąt naturalnego usypu, deg
K	miara stabilności ruchu złoza	ρ	gęstość nasypowa, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
<i>Indeksy:</i>			
n	numer kolejny pomiaru	$\bar{s}r$	wielkość średnia

Wprowadzenie

Systematyczny wzrost udziału materiałów ziarnistych w grupie produktów spożywczych, zarówno końcowych jak i półproduktów, wymusza konieczność sprecyzowania cech, które pozwolą jednoznacznie zdefiniować właściwości reologiczne materiału. Znajomość tych cech jest niezbędna do poprawnego projektowania urządzeń magazynowo-transportowych, przetwórczych i pakujących. Okazuje się, że opracowane w latach 60-tych i później udoskonalane metody, bazujące na pomiarze naprężeń ścinających [ASTM D6128-97 1997], nadają się do prognozowania zachowania się proszku w zasobnikach i zbiornikach magazynowych. W odniesieniu do proszków poddawanych swobodnemu przesypywaniu dotychczas nie opracowano jednej, szeroko akceptowanej metody pomiarowej, a każda z istniejących posiada ograniczenia co do zakresu zastosowań i interpretacji wyników. Najczęściej stosuje się metody bazujące na pomiarze czasu opróżniania specjalnego lejka przez kalibrowany otwór wylotowy (rys. 1a) [Svarovsky 1987], lub też w ocenie proszków uzyskiwanych techniką suszenia rozpryskowego, zwłaszcza proszków typu „instant”, znana jest metoda opracowana w laboratoriach firmy NIRO Atomizer (rys. 1b) [A/S Niro Atomizer 1978].



Rys. 1. Zasady pomiaru właściwości reologicznych swobodnie przesypującego się złoży proszku; a) zasada pomiaru indeksu płynięcia, b) zasada pomiaru zdolności płynięcia proszku metodą NIRO; 1 – lejek z kalibrowanym otworem, 2 – waga elektroniczna, 3 - drukarka

Fig. 1. Principles of measuring rheological properties of a freely flowing bed of powder; a) principle of measuring the flow index, b) principle of measuring the flowability of powder by NIRO method; 1 – funnel with a calibrated hole, 2 – electronic scale, 3 - printer

Obserwacje zachowania się proszków podczas przesypywania wskazują, że ruch cząstek w całej masie odbywa się w sposób ukierunkowany, jednak trajektorie pojedynczych cząstek sprawiają wrażenie ruchu chaotycznego. Fakt ten stwarza szansę wykorzystania analizy zachowania się materiału podczas ruchu do oceny jego zdolności płynięcia. Ruch złoży może być interpretowany metodą przedstawiania jego stanów chwilowych na płaszczyźnie fazowej. Analiza obrazu fazowego badanego układu, w szczególności atraktorów, może stanowić sposób ilustracji zachowania się swobodnie przesypującego się materiału ziarnistego [Baker G.L., J.P. Gollub 1998].

Cel i zakres pracy

Celem pracy było dokonanie analizy zmian wysokości złoży w bębnie w płaszczyźnie osi obrotu, z wykorzystaniem metody badania układów chaotycznych w kontekście możliwości oceny zdolności płynięcia materiału.

Materiał i metody

W doświadczeniach stosowano odmineralizowany piasek morski, jako model materiału drobnoziarnistego o dużej zdolności płynięcia i popularne produkty spożywcze - kakao oraz cukier puder. Fizyczne właściwości materiałów poddanych badaniom przedstawiono w tab. 1. Zdolność płynięcia badanego materiału wyrażono jako stałą czasową (T) wysypu z bębna NIRO

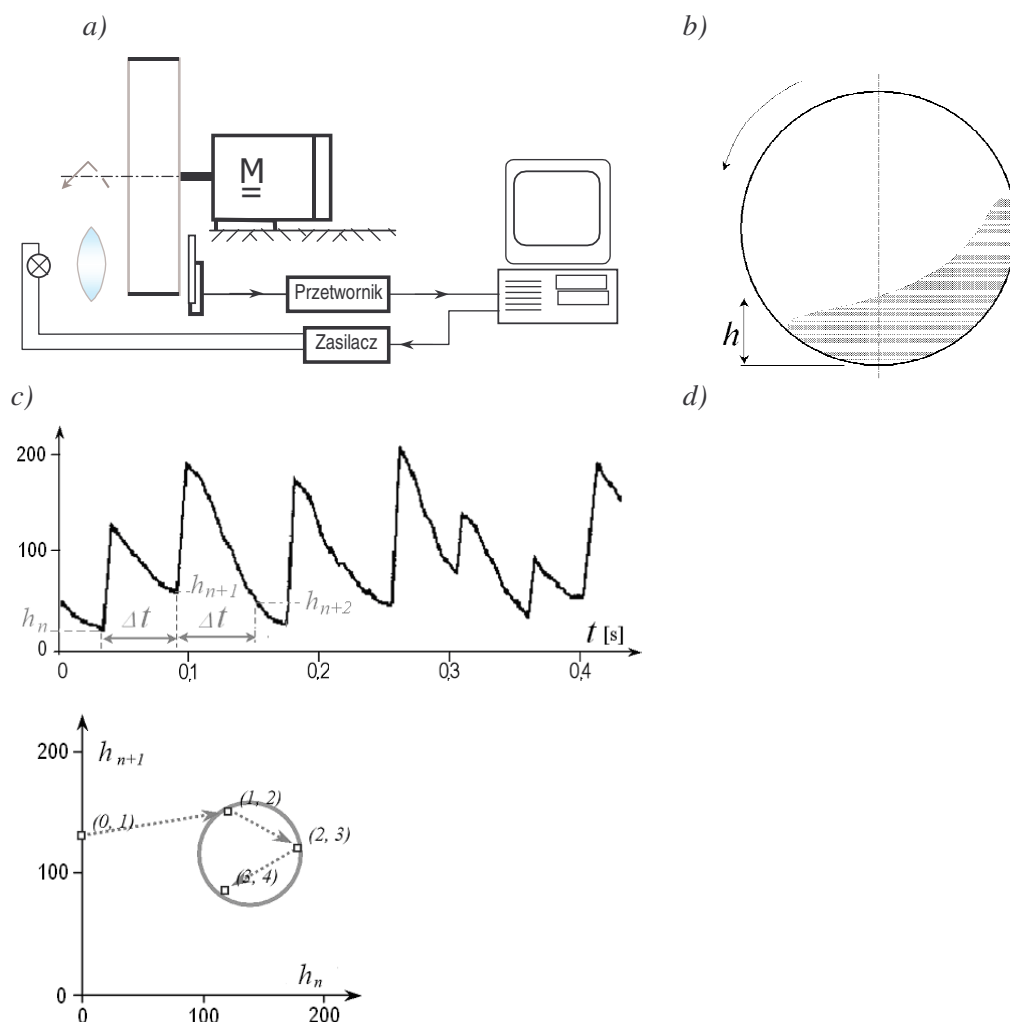
[Zander i in. 1997, 1998] i współczynnik Hausnera (HR), wyrażający stosunek gęstości nasypowych ubitej i luźnej [Svarovsky 1987].

W celu uzyskania złoża będącego w ciągłym ruchu umieszczano 30 cm^3 badanego materiału w przezroczystym bębnie ($\varnothing 100\text{ mm}$) o poziomej osi obrotu. Wprawienie bębna w ruch obrotowy z częstotnością $0,5\text{ s}^{-1}$ pozwoliło na obserwację procesu przesypywania zachodzącego wewnątrz bębna. Za pomocą układu optycznego (rys. 2a) w odstępach czasu co $0,06\text{ s}$ rejestrowano wysokość złoża w płaszczyźnie osi obrotu bębna (rys. 2b). Na tej podstawie sporządzano jednowymiarową tzw. mapę powrotną (ang. *one-dimensional return map*) przez nanoszenie na wykres kolejnych (n) wysokości złoża (h_{n+1}) w funkcji h_n . Średnia wartość h_{sr} wyznacza środek obszaru obejmującego wszystkie punkty podlegające interpretacji. Promień K okręgu tworzącego obwiednię co najmniej 95% wszystkich analizowanych punktów przyjęto za miarę stabilności ruchu złoża.

Wyniki badań i ich analiza

Podczas doświadczeń stwierdzono, że podczas obrotowego ruchu bębna złoże znajdującego się wewnątrz materiału ziarnistego wykazuje tendencję do osypywania się i tworzenia lawin. Mapy powrotne otrzymane dla każdego rodzaju materiału przedstawiono na rys. 3. Zróżnicowanie fizycznych charakterystyk materiału powodowało zmiany w częstotliwości i powtarzalności zawałów złoża wewnątrz bębna. Różne wartości średnich czasów między kolejnymi lawinami dla poszczególnych materiałów są reprezentowane na rys. 3 przez odrębne dla każdego medium położenia środków okręgów, stanowiących obwiednie rzutu atraktora chaotycznego na płaszczyznę fazową. Im lepsza była zdolność płynięcia materiału w bębnie, tym mniejszą odnotowywano zmienność czasów między kolejnymi zawałami i mniejsza była średnica okręgu.

Odwzorowanie ruchu piasku, charakteryzującego się niską wartością współczynnika Hausnera HR i dobrą zdolnością płynięcia reprezentowaną przez niską wartość stałej czasowej wysypu T z bębna *NIRO* (tab. 1) prowadzi do otrzymania małego rozrzutu punktów na rys. 3a. Rozkład punktów na „mapie powrotnej” wskazuje na dużą regularność tworzenia się zawałów (rys. 3a). Przesypywanie się kakao i cukru pudru, odznaczających się zdecydowanie gorszą zdolnością płynięcia (tab. 1), było mniej regularne, dając większy rozrzut punktów na mapach powrotnych (rys. 3b, 3c). W przypadku tych materiałów obserwowano dużą nieregularność powstawania zawałów.



Rys. 2. Zasada pomiaru właściwości reologicznych proszku na podstawie zaburzeń ruchu; a) zasada pomiaru zaburzeń przesypywania, b) sposób pomiaru wysokości złoża, c) charakterystyka czasowa osunięć (zawałów) proszku w bębnie podczas pomiaru, d) zasada tworzenia jednowymiarowej mapy powrotnej (okrąg reprezentuje powstający atraktor chaotyczny)

Fig. 2. Principle of measuring rheological properties on the basis of flow disturbance; a) Principle of measuring the flow-rate disturbance, b) method for measuring the height of bed, c) time characteristic of sliding (avalanching) the powders in the drum while measuring, d) principle of forming the single-directional return map (circle represents the chaotic attractor being formed)

Otrzymane wyniki wskazują, że wpływ rodzaju materiału na położenie środka koła obwiedni atraktorów jest stosunkowo słaby, podczas gdy średnica koła, wyrażona wielkością K wykazuje wyraźny związek z właściwościami materiału wyrażonymi przez współczynnik Hausnera HR , stałą czasową wysypu z bębna $NIRO$ i kąt naturalnego usypu α . Wynika stąd możliwość

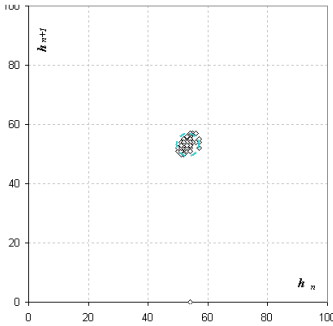
dokonywania oceny reologicznych cech proszków spożywczych metodą tworzenia mapy powrotnej na podstawie pomiarów położenia złoża badanego materiału przesypującego się wewnątrz wolnoobrotowego bębna o poziomej osi obrotu.

Tab. 1. Właściwości fizyczne badanych materiałów

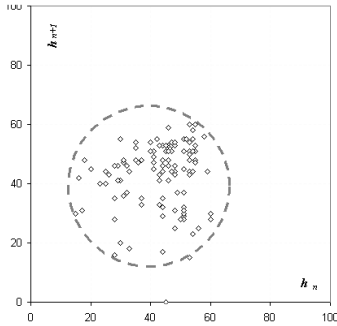
Tab. 1. Physical properties of test materials

Materiał	ρ [kg·m ⁻³]	HR [-]	d_{50} [mm]	T [s]	α [deg]	h_{sr} [piksele]	K [piksele]
Piasek	1702,4	1,040	0,555	2,5	32,0	53	4,4
Kakao	428,7	1,369	0,152	25,8	48,9	43	26,9
Cukier puder	599,3	1,277	0,108	61,6	53,1	48	43,8

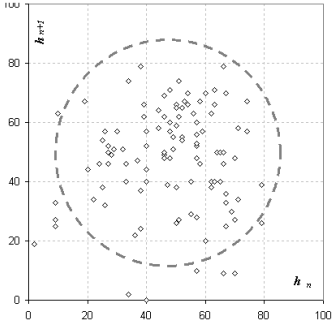
a)



b)



c)



Rys. 3. Mapy powrotne charakteryzujące ruch chaotyczny badanych materiałów w bębnie pomiarowym; a) piasek, b) kakao, c) cukier puder.
Fig. 3. Return maps characterizing the chaotic movement of test materials in the measuring drum: a) sand, b) cacao, c) powdered sugar.

Wnioski

Materiały o różnych właściwościach fizycznych wykazują zróżnicowane typy zachowań złoża przesypującego się podczas obrotu bębna;

Średnia amplituda powstawania zawałów proszku podczas cyklicznego przesypywania w bębnie pomiarowym może być wykorzystana jako wskaźnik zdolności płynięcia badanego materiału.

Bibliografia

A/S Niro Atomizer 1978: Analytical Methods for Dry Milk Products. A/S Niro Atomizer, Copenhagen, Denmark: 83-5

ASTM D6128_97, 1997: Standard Shear Testing Method for Bulk Solids Using the Jenike Shear Cell. Am. Soc. For Testing and Materials

Baker G. L., J.P. Gollub 1998: Wstęp do dynamiki układów chaotycznych, PWN Warszawa

Svarovsky L. 1987: Powder Testing Guide. Methods of Measuring the Physical Properties of Bulk Powders. Elsevier Appl. Sc. Publ. Ltd. England,

Zander Z., L. Zander, J. Warechowski 1997: Zmodyfikowana metoda pomiaru zdolności płynięcia proszków spożywczych. V Ogólnop. Konf. Przepł. Wielofazowych, Gdańsk, T2:174-177,

Zander Z., L. Zander, J. Warechowski 1998: Właściwości fizyczne proszków otrzymywanych techniką suszenia rozpyłowego. Materiały VIII konferencji naukowo-technicznej "Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego", Białystok, 567 – 573.

Instability in movement of the powder in the rotational drum as a measure of its flowability

Summary

The behaviour of the free powder bed in a closed, slowly rotating horizontal measuring drum was subject to analysis. Changes in the height of the bed in the plane of rotation were interpreted by methods describing the chaotic phenomena. It was found that while the drum was rotating, the bed was sliding (avalanching) with the frequency and amplitude depending on a type of material.

Keywords: powder, flowability, flow rate of powder, chaos