

Piotr WODZIŃSKI
Politechnika Łódzka, Łódź

O PEWNYCH WŁASNOŚCIACH WILGOTNYCH MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH

Streszczenie. Opisano właściwości materiałów sypkich takie jak: kształt ziaren, wilgotność, współczynnik tarcia wewnętrzznego i zewnętrznego. Przedstawiono korelacje zjawisk zachodzących w materiałach sypkich w zależności od opisanych właściwości.

ON SOME PROPERTIES OF MOIST GRANULAR MATERIALS

Summary. The properties of loose materials such as: shape of grains, humidity, friction internal and external coefficients are described. The correlation of the phenomena occurring with these materials and mentioned above properties are discussed.

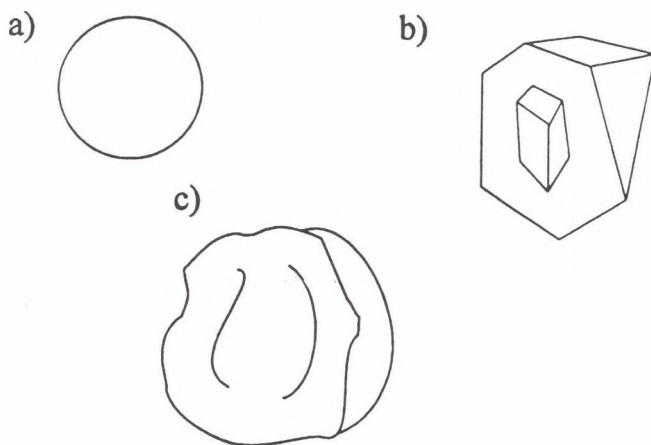
1. Wstęp

Niniejsza publikacja poświęcona jest omówieniu niektórych własności materiałów ziarnistych, szczególnie w przypadku gdy mamy do czynienia z materiałami wilgotnymi. Jak wiadomo, w praktyce przemysłowej niezwykle rzadko mamy do czynienia z materiałem ziarnistym nie zawierającym tzw. wilgoci przemijającej. Za wilgoć przemijającą uznajemy tę wodę zawartą w materiale ziarnistym, którą możemy usuwać metodami suszenia. Tak więc jakkolwiek materiał ziarnisty magazynowany np. w pomieszczeniu produkcyjnym lub zasobniku zawsze mieć będzie pewną zawartość wilgoci, zależną od wielu parametrów, w tym od zawartości pary wodnej w powietrzu. Dlatego zasadnicze znaczenie dla procesów mechanicznych, prowadzonych z udziałem ciał uziarnionych, ma wpływ wilgoci (zawartej w tych materiałach) na bieg tego procesu. Niniejsza praca jest próbą, innego niż ma to miejsce obecnie, uwzględnienia wilgoci w materiałach ziarnistych, poddawanych przeróbce mechanicznej. Przeróbka mechaniczna ciał ziarnistych występuje w bardzo wielu dziedzinach gospodarki narodowej. Można powiedzieć, iż wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z materiałem ziarnistym, pojawi się konieczność mechanicznego przerabiania tego materiału. Wydaje się więc, iż zagadnienia

przeróbki mechanicznej materiałów ziarnistych zawierających wilgoć są ważne i należy się nimi zajmować. Szczególnie w szeroko rozumianej ochronie środowiska, gdzie mamy w wielu wypadkach do czynienia z wilgotnymi materiałami ziarnistymi, problemy związane z mechaniczną przeróbką tych materiałów mają istotne znaczenie.

2. Kształt ziaren

Najczęściej spotykanym kryterium ujmującym kształt ziaren, z których złożone są materiały ziarniste, jest tzw. czynnik kształtu ziarna. Jest on definiowany jako stosunek powierzchni ziarna do powierzchni kuli o tej samej co ziarno objętości. Niestety, w procesach mechanicznych takie ujmowanie kształtu ziaren nie wydaje się uzasadnione. Nazwijmy ten czynnik „powierzchniowym”.



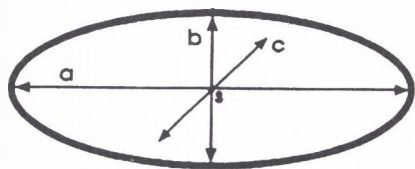
Rys. 1. Kształty ziaren

Fig. 1. Grain shapes

Na rys. 1 pokazano trzy modelowe kształty ziaren, które są najczęściej spotykane w przyrodzie. Są to ziarna:

- a) kuliste,
- b) ostrokrawędziowe,
- c) nieregularne.

Okazuje się, iż zdecydowana większość ziaren spotykanych w praktyce przemysłowej ma kształt podobny do jednego z wyżej wymienionych. Oznacza to, iż z punktu widzenia zachowania się ziarna w procesie mechanicznym można z wystarczającą dla praktycznych celów dokładnością założyć podobieństwo np. korelacji opisujących ten proces. W ten sposób mając do dyspozycji trzy równania służące do wyznaczenia np. wydajności przesiewacza, słuszne dla każdego z materiałów modelowych, możemy projektować powierzchnię przesiewającą dla zdecydowanej większości materiałów spotykanych w praktyce.



Rys. 2. Wymiary ziarna
Fig. 2. Grain dimensions

Inna metoda uwzględnienia kształtu ziaren polega na wprowadzeniu tzw. kulistego czynnika kształtu ziarna. Jeżeli mamy ziarno o dowolnym kształcie (rys. 2) i w jego środku ciężkości umiejscowimy kartezjański układ odniesienia OXYZ, to w rezultacie pomiaru tego ziarna wyznaczymy charakteryzujące je trzy wymiary:

- a – długość,
- b – szerokość,
- c – grubość,

przy czym $a > b > c$. Wymiary te stanowią o kształcie ziarna, a czynnik kształtu określamy za pomocą wyrażenia:

$$\varepsilon_k = \frac{b \cdot c}{a^2} \quad (1)$$

Autor niniejszej pracy zaproponował również inne wzory określające kulisty czynnik kształtu ziarna, ale z kilku propozycji ta wydaje się najwłaściwsza. Wykonano tzw. tabele czułości dla poszczególnych wyrażeń, w zakresie wymiarowym ziarna 0 – 10 mm z interwałem czułości 0,1 i 0,01 mm. Analiza tych tabel prowadzi do wniosku, iż najbardziej właściwa jest definicja (1). Zauważamy, iż kulisty czynnik kształtu ziarna jest zmienny w zakresie

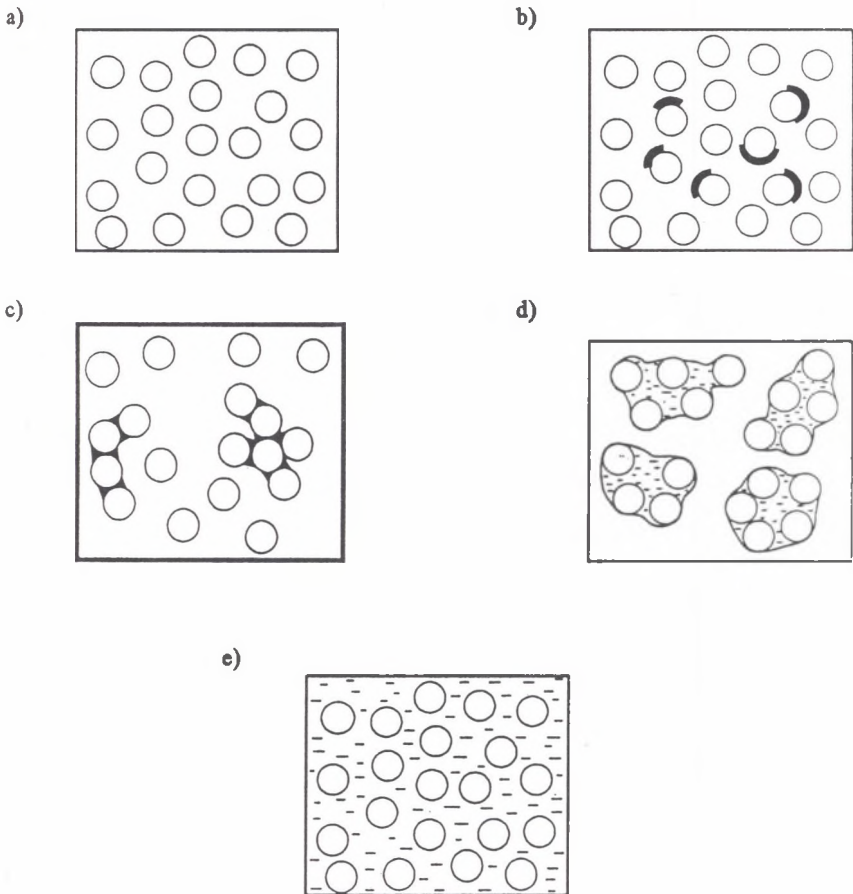
$$0 < \varepsilon_k \leq 1 \quad (2)$$

Dla brył kula i sześcian wartość tego czynnika wynosi 1. Im ziarno jest mniej izometryczne, tzn. im jeden z wymiarów (długość) jest większy od pozostałych, tym czynnik ε_k zbliża się do 0 (ale nigdy go nie osiąga).

Wyznaczenie kulistego czynnika kształtu ziaren odbywa się metodą pomiaru bezpośredniego wybranej (reprezentatywnej) próby ziaren za pomocą jednego ze znanych przyrządów do pomiarów liniowych (np. mikroskopu z podziałką).

3. Wilgotne materiały ziarniste

Jak wiadomo, w praktyce przemysłowej nie spotykamy w zasadzie materiałów ziarnistych suchych (tzn. bez wilgoci przemijającej) – rys. 3a. W rzeczywistości mamy do czynienia z materiałami wilgotnymi, przy czym w zależności od zawartości wilgoci można wyodrębnić różne połączenia wilgoci z ciałem stałym (rys. 3b, c i d). Krańcowa jest sytuacja zobrazowana na rys. 3e – układ dwufazowy ciało stałe – ciecz. W zależności od mechanizmu wiązania wody z ziarnami mamy do czynienia z różnym zachowaniem się strugi ziarnistej w procesie mechanicznym.

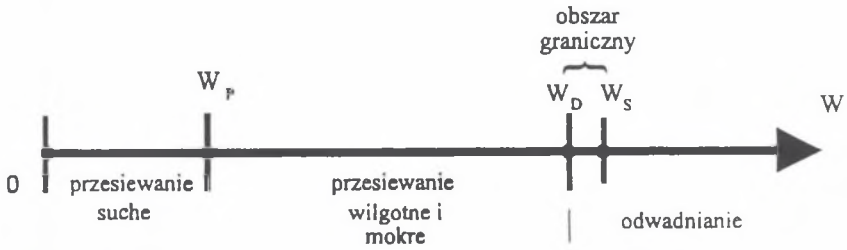


Rys. 3 Połączenia woda – materiał ziarnisty

Fig. 3. Moisture-granular material bonds

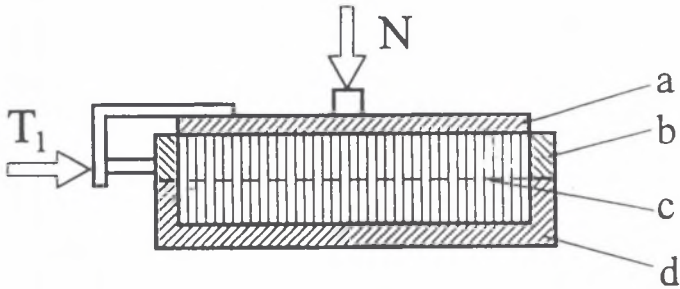
Zawartość wilgoci w materiale ziarnistym może być zilustrowana za pomocą tzw. osi wilgotnościowej (rys. 4), która zawiera punkty charakterystyczne dla zachowania się materiału ziarnistego w procesie mechanicznym. Oś ta zaczyna się w p. 0, co oznacza, że materiał ziarnisty wody przemijającej nie zawiera. Punkt ten ma znaczenie teoretyczne, bowiem w rzeczywistości materiał jakąś wodę w sobie zatrzymuje. Pierwszym punktem, który jest dla nas ważny, jest W_p . Oznacza on taką wilgotność materiału ziarnistego, przy której nie obserwujemy wpływu tej wilgoci na przebieg procesu. Materiał ziarnisty zachowuje się jak materiał suchy. Określenie tego punktu jest o tyle trudne, iż w różnych procesach mechanicznych (np. przesiewanie, dozowanie, rozdrabnianie...) posiada on inne położenie na osi wilgotnościowej.

W zakresie $0 - W_p$ mamy do czynienia z procesem suchym, np. przesiewaniem suchym.

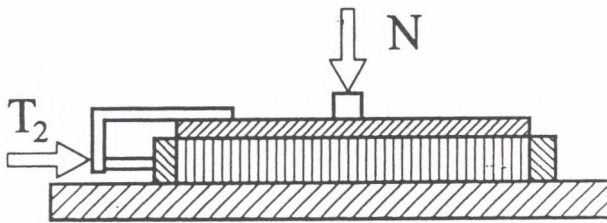


Rys. 4. Oś wilgotnościowa
Fig. 4 Moisture content axis

Drugi zakres to $W_p - W_D$, czyli obszar przesiewania wilgotnego. Punkt W_D oznacza dynamiczną zawartość wilgoci w złożu ziarnistym, a więc taką, którą materiał poddany ruchowi drgającemu (takiemu jak na sicie przesiewacza) zatrzymuje w sobie. Natomiast punkt W_S odpowiada zawartości statycznej wilgoci w materiale, a więc takiej, jaka pozostaje przy działaniu tylko siły ciężkości.



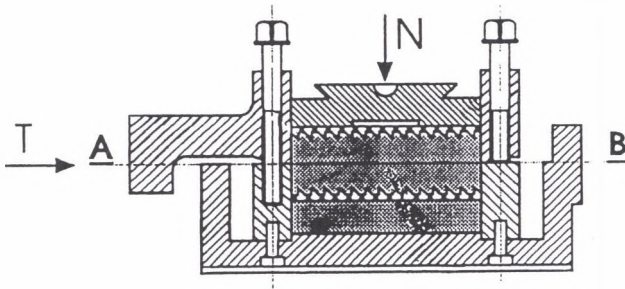
Rys. 5. Pomiar kąta tarcia wewnętrznego w materiale ziarnistym
Fig. 5. Measurement of internal friction angle in the granular material



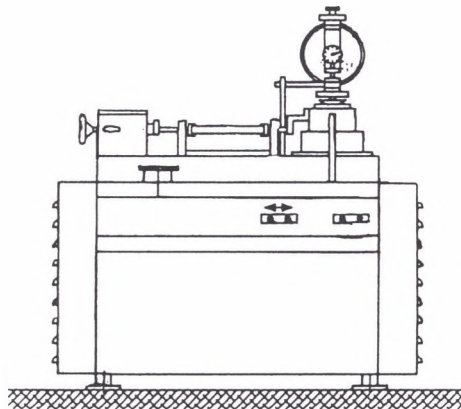
Rys. 6. Pomiar kąta tarcia materiału ziarnistego o powierzchnię
Fig. 6. Measurement of material friction angle against surface

Poza punktem W_S mamy do czynienia z klasycznym układem dwufazowym: ciało stałe-ciecz. W takim przypadku zachodzić będzie np. proces odwadniania ciała uziarnionego.

Niezwykle ważnymi parametrami, charakteryzującymi materiał ziarnisty, szczególnie jego zachowanie się w procesie mechanicznym, są współczynniki tarcia: wewnętrznego i zewnętrznego. Współczynniki te są wyznaczane za pomocą bezpośredniego ścinania, a schemat takiego badania pokazano na rys. 5 (tarcie wewnętrzne) i rys. 6 (tarcie zewnętrzne). Wartość obu współczynników tarcia uwzględnia szereg zmiennych jednocześnie, które mają istotny wpływ na przebieg procesu mechanicznego. Są to: skład ziarnowy, wilgotność materiału, spójność, sytkość... Wszystkie te cechy można opisać jednym współczynnikiem tarcia wewnętrznego (uważa się, iż znaczenie współczynnika tarcia zewnętrznego jest mniejsze). Ponadto postuluje się wprowadzenie tzw. uogólnionego współczynnika tarcia, będącego iloczynem lub średnią dwu składowych wielkości.



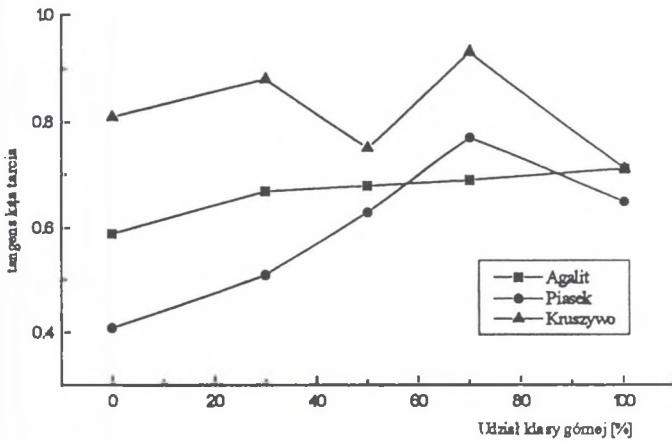
Rys. 7. Skrzynka do ścinania
Fig. 7. Shearing box



Rys. 8. Aparat ścinania bezpośredniego
Fig. 8. Direct shearing device

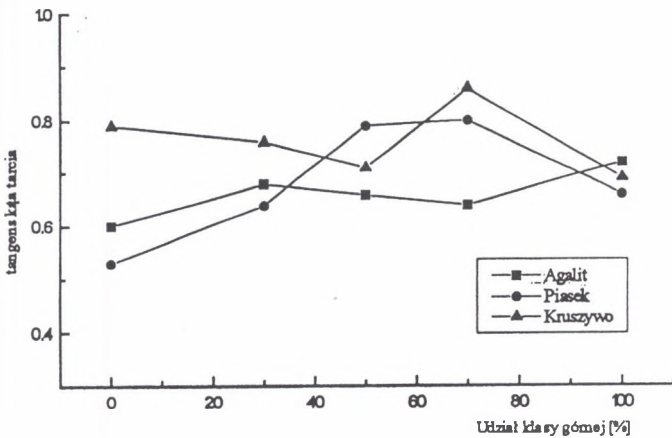
W niniejszym opracowaniu zostaną zaprezentowane wyniki badań, wykonanych w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej, polegających na wyznaczeniu współczynnika tarcia wewnętrzznego. Do tego celu zastosowano typowy przyrząd laboratoryjny, określający współczynnik tarcia metodą ścinania bezpośredniego. Na rys. 7 przedstawiono skrzynkę do ścinania, tzw. celki ścinające, a na rys. 8 ogólny widok aparatu ścinającego. Badanie ścinające zostało omówione w normie PN – 88/B – 04481. Badaniu poddano trzy modelowe materiały ziarniste (o których była mowa wcześniej), a były to:

- ziarna okrągłe (agalit),
- ziarna ostrokrawędziowe (kruszywo marmurowe),
- ziarna nieregularne (piasek).



Rys. 9. Współczynnik tarcia wewnętrzznego dla materiałów suchych $W = 0\%$

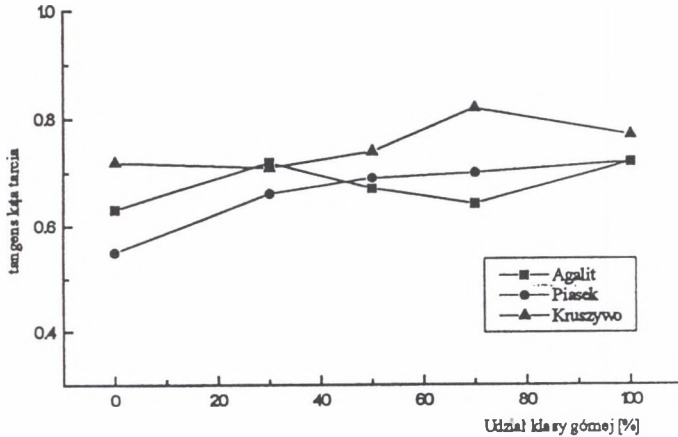
Fig. 9. Internal friction coefficient for dry materials $W = 0\%$



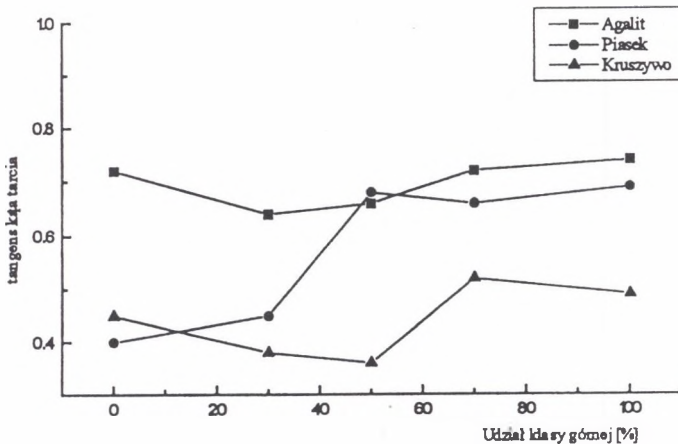
Rys. 10. Współczynnik tarcia wewnętrzznego dla materiałów wilgotnych $W = 4\%$

Fig. 10. Internal friction coefficient for moist materials $W = 4\%$

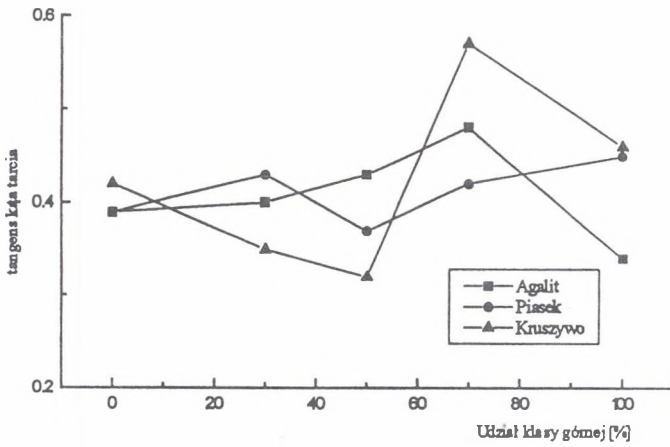
Na wykresach (rys. 9 – 13) przedstawiono wartości współczynnika tarcia wewnętrznego materiałów modelowych dla różnych zawartości wody w tych materiałach. Zakres wilgotności od 0% (materiały suche) do W_s (statyczna pojemność wodna). Natomiast na rys. 14 – 16 przedstawiono wartości współczynnika tarcia (tangensa kąta tarcia) w funkcji wilgotności materiału dla różnych składów ziarnowych.



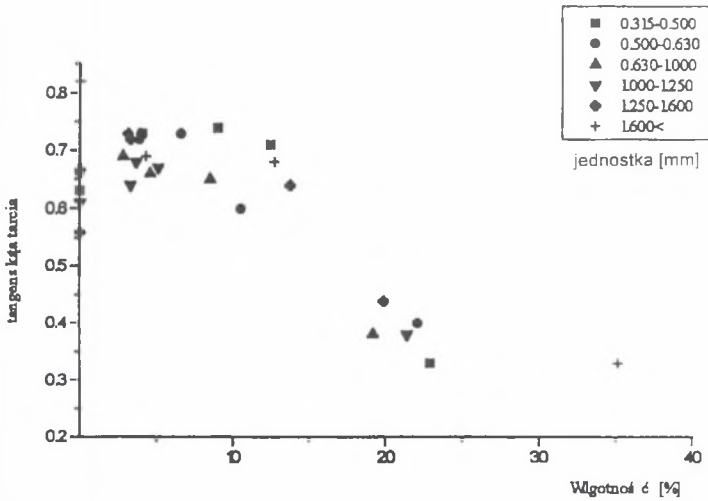
Rys. 11. Współczynnik tarcia wewnętrznego dla materiałów wilgotnych $W = 8\%$
 Fig. 11. Internal friction coefficient for moist materials $W = 8\%$



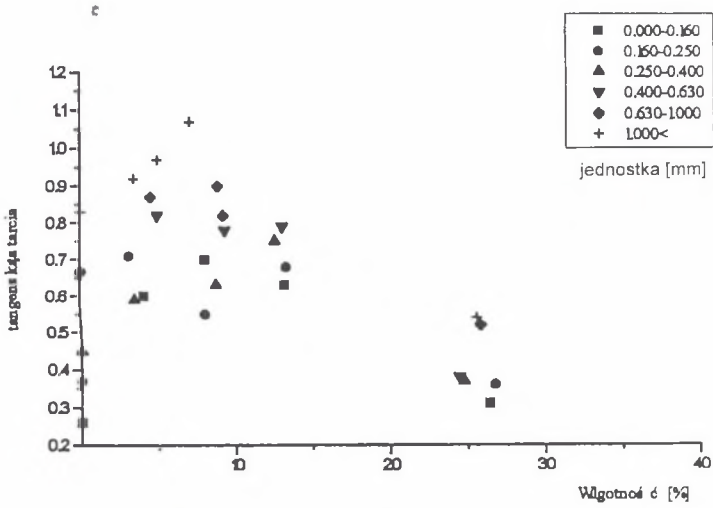
Rys. 12. Współczynnik tarcia wewnętrznego dla materiałów wilgotnych $W = 12\%$
 Fig. 12. Internal friction coefficient for moist materials $W = 12\%$



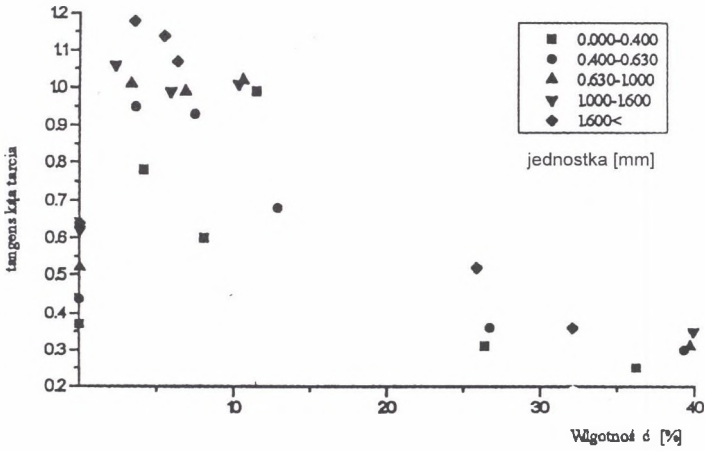
Rys. 13. Współczynnik tarcia wewnętrznego dla materiałów wilgotnych $W = W_s$
 Fig. 13. Internal friction coefficient for moist materials $W = W_s$



Rys. 14. Współczynnik tarcia wewnętrznego dla agalitu
 Fig. 14. Internal friction coefficient for agalite



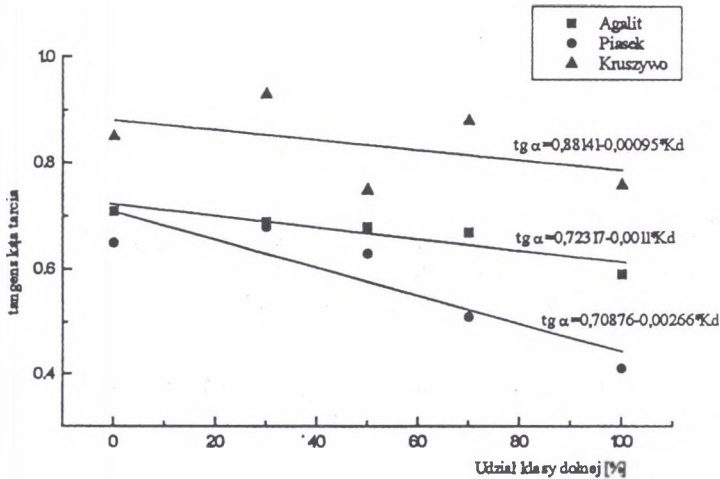
Rys. 15 Współczynnik tarcia wewnętrzny dla piasku
 Fig. 15. Internal friction coefficient for sand



Rys. 16. Współczynnik tarcia wewnętrzny dla kruszywa
 Fig. 16. Internal friction coefficient for aggregate

Rys. 17 pokazuje zależności funkcyjne typu $\text{tg } \alpha = \text{tg} \alpha(K_d)$, gdzie K_d jest udziałem klasy dolnej w nadawie (dla procesu przesiewania drobnouziarnionego). Jest to funkcja liniowa typu

(3)



Rys. 17. Współczynnik tarcia wewnętrznej dla materiałów suchych $W = 0\%$

Fig. 17. Internal friction coefficient for dry materials $W = 0\%$

4. Zakończenie

Niniejsza praca jest złożona z dwóch zasadniczych części. Wprowadzono oś wilgotności względnej materiału ziarnistego będącą usystematyzowaniem wpływu wilgoci na zachowanie się materiału ziarnistego w procesach mechanicznych, w tym przesiewaniu tych materiałów. Kolejnym elementem jest zaproponowanie kulistego czynnika kształtu ziarna, jako nowej charakterystyki określającej analitycznie kształt ziaren. Drugim sposobem uwzględnienia kształtu ziarna jest posługiwanie się trzema modelowymi materiałami ziarnistymi, które to materiały reprezentują trzy typy kształtu ziaren: kulisty, nieregularny i ostrokrawędziowy. Uproszczenia tego dokonano na podstawie wielu obserwacji przesiewania różnych innych kształtów ziaren, które - jak się okazało - można „przybliżyć” do wyżej wymienionych. Wszystkie badania i korelacje uzyskane z tych badań były i są wykonane oddzielnie dla ww. kształtów ziaren.

Druga część pracy polegała na zastosowaniu współczynnika tarcia wewnętrznej materiału ziarnistego, jako wielkości fizycznej charakteryzującej zachowanie się materiału w procesie mechanicznym, np. zdolność do przesiewania. Postuluje się, aby ten współczynnik traktować jako zmienną niezależną w badaniach procesów mechanicznych, szczególnie tę, która uwzględnia obecność wilgoci w materiale. Wprowadzenie tego współczynnika, zamiast znanego pojęcia wilgotności materiału, uzasadniona jest tym, iż

różne materiały w różny sposób reagują na obecność w nich wody. Stąd te same zawartości wilgoci powodować mogą zupełnie inne własności złóż ziarnistych. Wydaje się, iż posługiwanie się współczynnikiem tarcia wewnętrznego, zamiast zawartością wilgoci w materiale

jest ze wszech miar uzasadnione.

LITERATURA

1. Banaszewski T.: Przesiewacze, Katowice 1990.
2. Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy, WGH, Katowice 1962.
3. Sztaba K.: Przesiewanie, Katowice 1993.
4. Wodziński P.: Przesiewanie i przesiewacze, Łódź 1997.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 3T09C 027 17

Recenzent: Dr inż. Lucjan Anders

Abstract

The properties of loose materials such as grain shape, material moisture content and internal and external friction coefficients are discussed in the paper. There are two methods to consider the grain shape. One is based on the division of grain shapes encountered in the natural state into three groups only: spherical, irregular and sharp-edged grains. All correlations referring to the phenomena which take place in a granular bed, are developed for each group separately. The second method consists in introducing a new grain shape factor (the so-called spherical) different than the ones met so far. This factor has found special application in mechanical processes in which granular materials are involved.

Another important element is the granular material moisture content and its effect on the behaviour of the granular bed during mechanical processing. So far, moisture content has been treated directly as an independent variable. Now, it is proposed to replace it by the internal friction coefficient or a generalized friction coefficient. In this paper the determination of this value is discussed and relevant experimental results are given.