

WPLYW KSZTAŁTU NASION I UPAKOWANIA ZŁOŻA NA KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO*

M. Molenda, M. Stasiak

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: mmolenda@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu sposobu formowania próbki oraz kształtu nasion na kąt tarcia wewnętrznego. Badania przeprowadzono dla ziół nasion różniących się od siebie zarówno wymiarami jak i kształtem (gryka, rzepak, soczewica, żyto). Eksperymenty przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania, dla dwóch wartości naporu normalnego: 20 i 100 kPa. Stwierdzono istotny wpływ sposobu formowania próbki materiału i kształtu pojedynczych nasion na wartości kąta tarcia wewnętrznego. Największe zakresy zmian kąta tarcia wewnętrznego odnotowano dla ziół nasion żyta i gryki.

Słowa kluczowe: kąt tarcia wewnętrznego, kształt nasion, struktura.

WSTĘP

Złoża surowców rolniczych w trakcie procesów przetwarzania podlegają operacjom transportu, mieszania, czyszczenia i składowania. Przy projektowaniu maszyn i urządzeń oraz przy wprowadzaniu nowych technologii przerobu sypkich surowców rolniczych niezbędna jest pełna wiedza o zachowaniu się złoża ziarna w warunkach zewnętrznych obciążeń mechanicznych. Aktualnie standaryzacja obejmuje coraz więcej metod wyznaczania właściwości materiałów sypkich. Norma Eurocode 1 [2], a obecnie również Polska Norma PN-B-03262:2002 [8] zalecają wyznaczać doświadczalnie parametry mechaniczne materiałów sypkich w ściśle określonych warunkach, odpowiadających obciążeniom eksploatacyjnym.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 5P06F 021 17 finansowanego przez KBN.

Kąt tarcia wewnętrzznego - φ , gęstość - ρ , współczynnik tarcia o ścianę - μ oraz iloraz naporu - k to podstawowe parametry materiałowe niezbędne w projektowaniu silosów na materiały sypkie [1,3]. Dopuszczalne jest przy tym obliczanie ilorazu naporu na podstawie empirycznej zależności od kąta tarcia wewnętrzznego [2]. Tym bardziej istotne staje się zastosowanie w obliczeniach projektowych właściwej wartości kąta tarcia wewnętrzznego φ .

Kąt tarcia wewnętrzznego decyduje o oporach przemieszczania się materiału i wyznacza maksymalne naprężenie styczne, jakie może przenieść materiał sypki. Właściwości mechaniczne takiego materiału wykazują znaczną zmienność wynikającą zarówno ze zróżnicowania cech nasion tworzących ośrodki (kształt, wymiary, powierzchniowe właściwości cierne oraz zdolność do odkształceń), jak również z różnicy w strukturze wzajemnego ułożenia pojedynczych nasion w złożu, powstającej w czasie operacji technologicznych. Struktura geometryczna złoża wpływa również na wartość kąta tarcia wewnętrzznego φ . Ośrodek złożony z granul niekulistych, jak na przykład ziarno zbóż, może wytwarzać struktury o większym stopniu zróżnicowania niż w przypadku ziaren kulistych [5]. Określona orientacja nasion w złożu pociąga za sobą anizotropię właściwości mechanicznych. Wiele efektów obserwowanych w eksploatacji silosów wynika ze zmienności właściwości w objętości złoża. Przykładem jest asymetria obciążeń silosu w trakcie osiowego opróżniania [10].

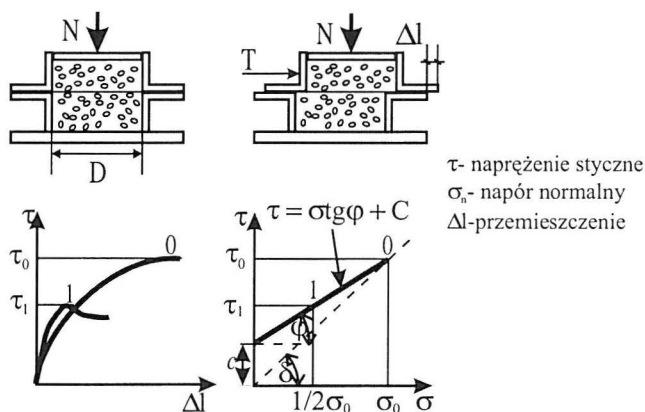
Badania wpływu struktury przestrzennego ułożenia granul na właściwości mechaniczne złoża materiału sypkiego zapoczątkował Oda [7]. Wyróżnił on anizotropię spowodowaną wyróżnionym kierunkiem ułożenia niekulistych granul oraz anizotropię spowodowaną wyróżnionym kierunkiem koncentracji normalnych do punktów kontaktu granul. Stwierdził, że gdy ośrodek składa się z granul niekulistych mogą wystąpić oba rodzaje anizotropii, natomiast gdy ośrodek składa się z granul kulistych może pojawić się jedynie drugi rodzaj anizotropii.

Celem badań było określenie wpływu kąta nachylenia powierzchni swobodnej nasion w trakcie formowania próbki do kierunku ścinania oraz wpływu kształtu nasion na kąt tarcia wewnętrzznego złożów wybranych nasion, wyznaczanego w aparacie bezpośredniego ścinania.

APARATURA, METODA, MATERIAŁ

Badania wpływu kształtu pojedynczych nasion oraz kąta nachylenia powierzchni swobodnej do kierunku ścinania przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania [3] (Rys.1).

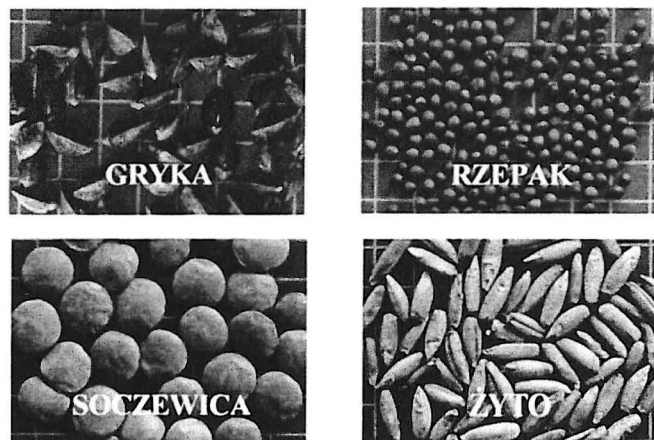
Przebiegi eksperymentalne zależności naprężenia stycznego od przemieszczenia otrzymane w wyniku pomiarów w aparacie bezpośredniego ścinania pozwalają wyznaczyć punkty odpowiadające momentowi wyczerpania wytrzymałości materiału i rozpoczęcia plastycznego płynięcia. Punkty te należą do warunku plastyczności. W badaniach zastosowano metodę Jenikego uproszczoną zgodnie z zaleceniami norm Eurocode 1 i PN, które dopuszczają wyznaczanie warunku plastyczności jedynie na podstawie dwóch punktów [2, 8] (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat aparatu i metody wyznaczania parametrów tarcia wewnętrzznego.

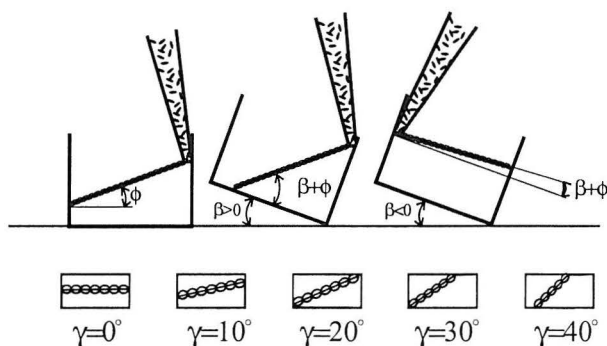
Fig. 1. Experimental set and method for determining parameters of internal friction.

Materiały do badań wybrano ze względu na charakterystyczny kształt oraz wymiary pojedynczych nasion - od soczewkowatego kształtu nasion soczewicy, kulistego rzepaku, czworobocznego gryki, do wydłużonej elipsoidy żyta (Rys. 2). Pomiar kąta tarcia wewnętrzznego przeprowadzono dla pięciu wartości kąta nachylenia powierzchni swobodnej do kierunku ścinania γ (od 0° do 40°). Poszczególne kąty nachylenia uzyskano poprzez zasypywanie komory aparatu, umieszczonej pod różnymi kątami nachylenia do kierunku ścinania (β), z leja zasypowego, wykorzystując powstawanie kąta naturalnego usypu (ϕ) oraz efekt układania się ziaren na ogół najdłuższą oś wzdłuż powstałego stożka (Rys. 3). Eksperymenty przeprowadzono w aparacie o średnicy komory pomiarowej $D = 210$ mm i wysokości złoża ziarna $H = 80$ mm, przy prędkości ścinania $V = 21$ mm·min⁻¹. Pomiar wykonano w trzech powtórzeniach, dla dwóch wartości naprężenia normalnego $\sigma = 20$ i 100 kPa.



Rys. 2. Materiały wybrane do badań.

Fig. 2. Materials chosen for experiments.



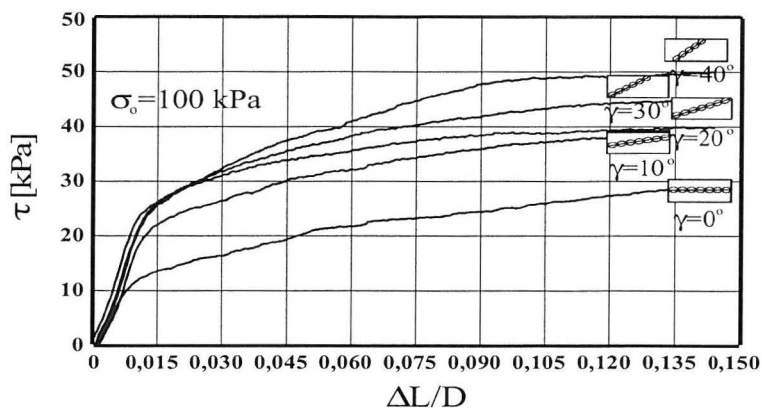
Rys. 3. Metoda przygotowania próbek materiału do testu bezpośredniego ścinania.

Fig. 3. Method of preparation of samples for the direct shear test.

WYNIKI I DYSKUSJA

W zakresie podawanego przez normy względnego przemieszczenia pierścieni aparatu (do 5% średnicy próbki) nie stwierdzono stabilizacji przebiegu naprężenia stycznego przy naporze normalnym 100 kPa. Osiągnięcie tego stanu wymagało dłuższej drogi ścinania, a punkty należące do warunku plastyczności określano przy przemieszczeniu względnym pierścieni aparatu, równym 10%. Dla naporu normalnego, równego 20 kPa, za punkty odpowiadające rozpoczęciu się ustalonego płynięcia przyjmowano wartości maksymalne naprężenia stycznego. Stwier-

dzono istotny wpływ kąta nachylenia powierzchni swobodnej γ na przebiegi eksperymentalne zależności naprężenia stycznego od przemieszczenia. W przypadku żyta zaobserwowano prawie dwukrotny wzrost wartości naprężenia stycznego (Rys. 4) wraz ze wzrostem kąta γ .

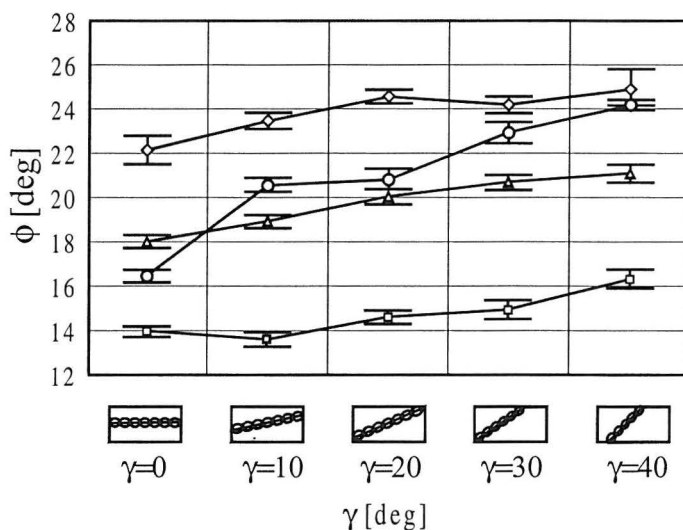


Rys. 4. Przebiegi eksperymentalne $\tau (\Delta L/D)$ dla próbek żyta otrzymane dla różnych wartości kąta nachylenia γ .

Fig. 4. Experimental plots of $\tau (\Delta L/D)$ for samples of rye grain for different values of the inclination angle γ .

Kąt tarcia wewnętrzznego rósł w przybliżeniu liniowo wraz ze wzrostem kąta γ . Największą zmienność kąta tarcia wewnętrzznego otrzymano w przypadku nasion żyta (około 7°), których kształt najbardziej odbiega od kulistego. Najwyższe wartości kąta tarcia wewnętrzznego (od około 22° do około 27°) otrzymano dla nasion rzepaku, najniższe odnotowano dla złoża soczewicy (od około 14° do około 16°) (Rys. 5). Zróżnicowanie wartości kąta tarcia wynika z właściwości powierzchniowych pojedynczych nasion. Otrzymane zakresy zmienności kątów tarcia dla poszczególnych materiałów są porównywalne z wynikami wcześniejszych badań w zmodyfikowanym aparacie bezpośredniego ścinania oraz aparacie trójosiowego ściskania [5,6].

Efekty zmiennego ułożenia pojedynczych nasion w złożu są zgodne z prekursorskimi badaniami Ody, prowadzonymi w aparacie trójosiowego ściskania [7]. Stwierdził on, że wraz ze wzrostem kąta nachylenia najdłuższej osi ziaren psianki względem pionu rośnie kąt tarcia wewnętrzznego, osiągając maksimum przy poziomym ułożeniu granул. Efekt ten badał również Kitamura [4], proponując zastosowanie modelu do opisu wpływu anizotropii wywołanej ułożeniem pojedynczych granул w ośrodku.



Rys. 5. Kąt tarcia wewnętrzne ϕ w zależności od kąta nachylenia γ dla pięciu materiałów.

Fig. 5. The angle of internal friction in depend on the inclination angle γ for five tested materials.

Wpływ kształtu pojedynczych granул ośrodka sypkiego na lokalizację warunku plastyczności na przykładzie proszku stalowego złożonego z cząstek o różnych indeksach kształtu przedstawili Shinohara i inni [9]. Stwierdzili, że wraz ze wzrostem tego indeksu (kształt bliższy kuli) zmniejsza się wytrzymałość na ścinanie materiału.

WNIOSKI

1. Kąt tarcia wewnętrzne ϕ zależy od kąta nachylenia powierzchni swobodnej nasion w trakcie formowania próbki do kierunku ścinania γ .
2. Wartości kąta tarcia wewnętrzne wzrastają w przybliżeniu liniowo wraz ze wzrostem kąta γ .
3. Im bardziej kształt nasion odbiega od kuli tym większy jest zakres zmian kąta tarcia wewnętrzne wywołany wyróżnioną orientacją nasion.

PIŚMIENNICTWO

1. **ASAE Standards, EP433:** Loads exerted by free-flowing grain on bins. St. Joseph, MI, ASAE, 1999.
2. **Eurocode 1:** Basis of design and actions on structures. Part 4. Actions in silos and tanks. DD ENV 1991-4, 1996.

3. **Jenike A.W.** : Gravity flow of bulk solids. Bull. 123, Eng. Expt. Sta., Utah State Univ., 1964.
4. **Kitamura R.**: A Markov model of particulate material with anisotropic fabrics. Proceedings of NUMETA '85 Conference, Swansea, 7-11 January 1985.
5. **Molenda M., Horabik J., Grochowicz M., Szot B.**: Tarcie ziarna pszenicy. *Acta Agrophisica*, 4, 1995.
6. **Molenda M., Stasiak M.**: Anizotropia kąta tarcia wewnętrznego ziarna pszenicy. *Inżynieria Rolnicza*, 2(22), 245-251, 2001.
7. **Oda M.**: Co-ordination number and its relation to shear strength of granular material. *Soils and Foundations*, 17(2), 29-42, 1977.
8. **PN-B-03262: 2002** Silosy żelbetowe na materiały sypkie. Obliczenia statyczne, projektowanie wykonawstwo i eksploatacja.
9. **Shinohara K., Oida M., Golman B.**: Effect of particle shape on angle of internal friction by triaxial compression test. *Powder technology*, 107, 131-136, 2000.
10. **Thompson S.A., Molenda M., Ross I.J., Bucklin. R.A.**: Loads caused by bottom unloading wall flumes in a model grain bin. *Transactions of the ASAE*, 41(6), 1807-1815, 1998.

INFLUENCE OF SEEDS SHAPE AND INTERNAL STRUCTURE OF THE SAMPLE ON ANGLE OF INTERNAL FRICTION

M. Molenda, M. Stasiak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: mmolenda@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. The effect of different particle shape and angle between direction of shearing and surface of bed during filling (γ) on angle of internal friction was investigated by direct shear test. Tests were performed on bed of buckwheat, lentil, rapeseed and rye for five different angles γ . The angle of internal friction was found to increase linearly with an increase in angle γ .

Keywords: angle of internal friction, particle shape, structure.