

## WPLYW ROZDROBNIENIA ORAZ WILGOTNOŚCI NASION BOBIKU I WYKI NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA WEWNĘTRZNEGO

*J. Laskowski, S. Skonecki*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR, ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki pomiarów współczynnika tarcia wewnętrznego i kohezji rozdrobnionych nasion bobiku i wyki w zależności od ich wilgotności i średniego wymiaru cząstki. Pomiarów te przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania. Stwierdzono, że ze zwiększeniem wilgotności i średniego wymiaru ziarna rośnie współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezja.

**Słowa kluczowe:** Współczynnik tarcia wewnętrznego, bobik, wyka, wilgotność, średni wymiar cząstki.

### WSTĘP

Przebieg procesów technologicznych sypkich materiałów roślinnych (transport, rozdrabnianie, mieszanie, przesiewanie, aglomerowanie, przechowywanie i inne) zależy w znacznym stopniu od właściwości fizycznych obrabianych materiałów. Podstawowym, dynamicznym parametrem charakteryzującym materiały sypkie jest opór związany z tarciem występującym zarówno między ziarnami, jak i ziarnami a stykającymi się z nimi elementami maszyn i urządzeń. Opór względnego przemieszczenia ziaren jest związany z wytrzymałością ośrodka ziarnistego na ścinanie. Wytrzymałość tą określa się za pomocą współczynnika tarcia wewnętrznego (kąta tarcia wewnętrznego) i spójności (kohezji) [1-5, 8-10].

Współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezja zależą od właściwości ziaren oraz od struktury ośrodka utworzonego z tych ziaren. Właściwości ziaren modyfi-

kowane są wilgotnością, gatunkiem i odmianą. Parametry struktury to przede wszystkim gęstość ośrodka oraz wzajemne ułożenie ziaren [1, 4, 9, 10].

Badania związane z określeniem wpływu rozdrobnienia i wilgotności na współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezję dla trzech odmian pszenicy oraz nasion grochu i łubinu autorzy przedstawili w opracowaniach [7, 8].

Celem badań tej pracy było określenie wpływu wilgotności i rozdrobnienia wybranych nasion roślin strączkowych na współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezję.

## MATERIAŁ I METODY

### Charakterystyka materiału

Do badań wybrano nasiona bobiku (odmiany Nadwiślański) i wyki (odmiana Szelejewska).

Nasiona rozdrabniano na rozdrabniaczu bijakowym H-950. Dla uzyskania zróżnicowanego materiału badawczego rozdrabnianie wykonano trzema sposobami (przy wykorzystaniu sita o średnicach otworów 3 mm, 7 mm oraz bez sita). W ten sposób dla nasion bobiku i wyki uzyskano po trzy próbki o różnym stopniu rozdrobnienia materiału badawczego. Pomiary składu granulometrycznego wykonano zgodnie z PN-89/R-64797 przy wykorzystaniu przesiewacza laboratoryjnego typu SZ-1 (stosowano zestaw sit o wymiarach oczek: 0,095; 0,18; 0,315; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 i 3,2 mm). Obliczono również średni wymiar cząstek.

Wyznaczono gęstość usypową i utrzęsoną dla surowców o wilgotności 13%(+/-0,5%). Do dalszych badań przygotowano próbki nasion o wilgotności 10, 12, 14, 16 i 18% (+/-0,2%). Wilgotność określano metodą suszarkową zgodnie z PN-76/R-64762. Daną wilgotność surowca uzyskiwano poprzez suszenie lub dodanie wody do materiału.

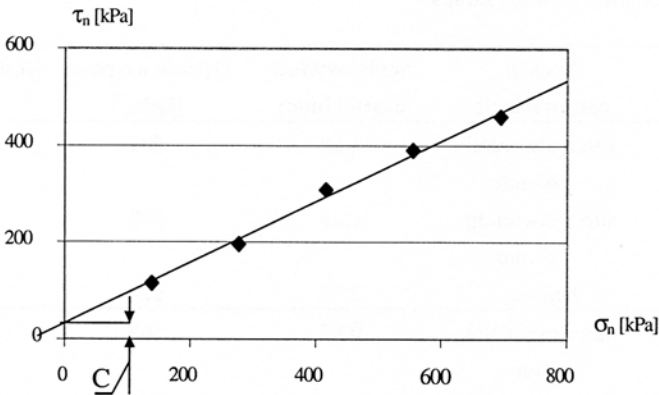
### Pomiar współczynnika tarcia wewnętrznego i kohezji

Pomiary przeprowadzono przy wykorzystaniu aparatu bezpośredniego ścinania (typ AB-2a produkcji Zakładu Aparatury Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie). Stanowisko pomiarowe opisano w pracy [6].

Przebieg badań był taki sam jak w pracach [7, 8]. Próbkę materiału umieszczano w komorze prób. Jest to skrzynka dwudzielna (dwie metalowe ramki o wymiarach 0,06 x 0,06 m i wysokości 0,04 m każda). Komorę wypełniano do 2/3 wysokości górnej ramki i wkładano metalową płytkę perforowaną. Na płytce

układano tłoczek, który poddawano działaniu siły normalnej ( $F_n$ ) rejestrowanej na siłomierzu pionowym. Siłę ścinającą ( $F_t$ ) wywoływano przez przemieszczenie górnej ramki (prędkość przesuwu wynosiła  $0,167 \text{ mms}^{-1}$ ). Do określenia tej siły wykorzystano pierścieni oporowy z tensometrem, którego odkształcenia poprzez mostek tensometryczny wprowadzano do komputerowego programu rejestrującego wartości siły stycznej w zależności od czasu pomiaru. Wielkość siły stycznej rejestrowano do odkształcenia próbki nie przewyższającego 20%, co umożliwiało wyznaczenie siły ścinającej ( $F_t$ ). Ścięcie zachodziło przy odkształceniach próbki w zakresie 8-15%. Badania prowadzono przy pięciu wartościach siły normalnej obciążającej  $F_n$ : 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 kN (nacisk normalny w zakresie 139-695 kPa).

Jako wynik próby bezpośredniego ścinania otrzymuje się wykres (Rys. 1) we współrzędnych naprężenie styczne ( $\tau_n = F_t/S$ , gdzie: S-pole przekroju próbki [ $\text{m}^2$ ]), naprężenie normalne ( $\sigma_n = F_n/S$ ).



Rys. 1. Zależność naprężenia stycznego  $\tau_n$  od naprężenia normalnego  $\sigma_n$ .

Fig. 1. Relation of shear stress  $\tau_n$  to normal stress  $\sigma_n$ .

Analizowane wielkości (współczynnik tarcia wewnętrznego  $f_w$  i kohezję C) wyznaczono z prawa Coulomba, które głosi, że wytrzymałość na ścinanie ( $\tau_n$ ) jest proporcjonalne do naprężenia normalnego ( $\sigma_n$ ) [10]:

$$\tau_n = f_w \sigma_n + C \quad (1)$$

Wyniki pomiarów podstawowych właściwości próbek nasion oraz badań tarcia przedstawiono poniżej w tabeli i na rysunkach.

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Podstawowe właściwości

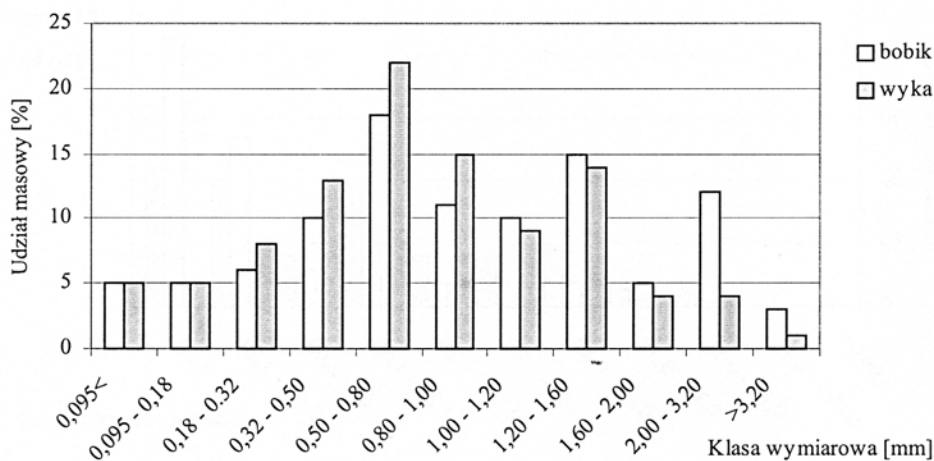
Podstawowe właściwości próbek nasion zestawiono w tab. 1. Dane te wskazują, że rozdrobnione próbki nasion mają różny średni wymiar cząstki zależny od sposobu rozdrabniania. Największe wartości średniego wymiaru cząstki uzyskano dla nasion rozdrobnionych bez użycia sita, a najmniejsze dla nasion rozdrobnionych z użyciem sita o wymiarach otworu  $\phi 3$  mm. Z tab. 1 wynika także, że gęstość usypowa i utrząsona rośnie wraz ze zwiększeniem średniego wymiaru cząstki surowca.

**Tabela 1.** Podstawowe właściwości próbek nasion

**Table 1.** Basic properties of seeds samples

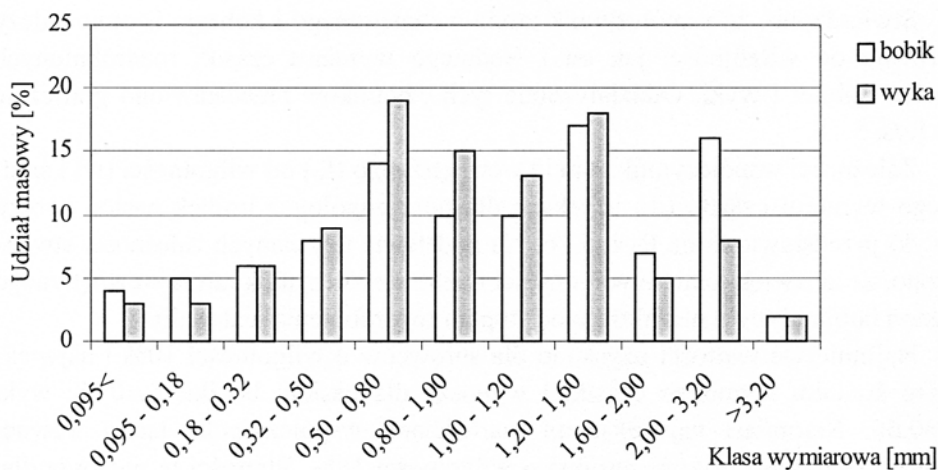
Nasiona	Sposób rozdrobnienia	Średni wymiar cząstki [mm]	Gęstość usypowa [kg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość utrząsona [kg/m <sup>3</sup> ]
Bobik	sito z otworami $\phi 3$ mm	1,10	581	652
	sito z otworami $\phi 7$ mm	1,23	592	678
	bez sita	2,61	622	734
Wyka	sito z otworami $\phi 3$ mm	0,87	565	609
	sito z otworami $\phi 7$ mm	1,01	582	678
	bez sita	1,95	605	717

W celu pełniejszego scharakteryzowania różnic w wymiarze cząstek rozdrobnionych nasion bobiku i wyki na Rys. 2 - 4 przedstawiono uzyskane składy granulometryczne. Wynika z nich, że w zależności od sposobu rozdrabniania występuje różnica w udziale poszczególnych klas ziarnowych.



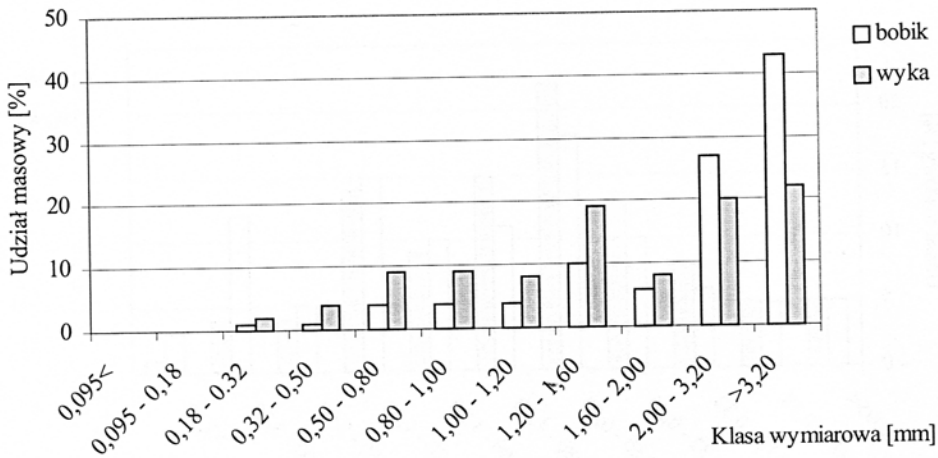
Rys. 2. Skład granulometryczny rozdrobnionych nasion bobiku i wyki (sito z otworami 3 mm).

Fig. 2. Particle size distribution of ground seeds of horse bean and vetch (3 mm screen size).



Rys. 3. Skład granulometryczny rozdrobnionych nasion bobiku i wyki (sito z otworami 7 mm).

Fig. 3. Particle size distribution of ground seeds of horse bean and vetch (7 mm screen size).



**Rys. 4.** Skład granulometryczny rozdrobnionych nasion bobiku i wyki (rozdrabnianie bez użycia sita).

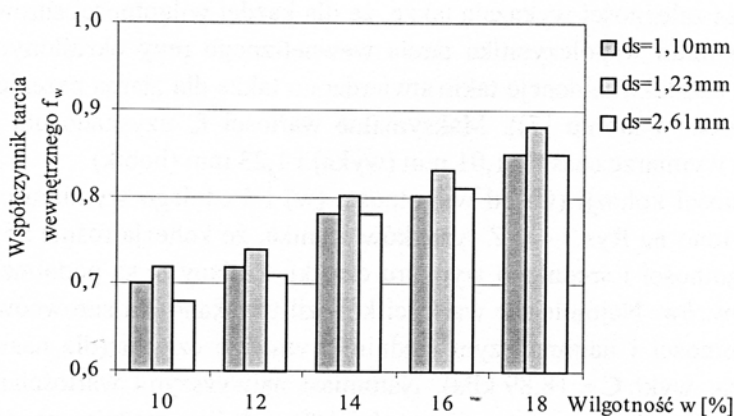
**Fig. 4.** Particle size distribution of ground seeds of horse bean and vetch (without screen).

### Współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezja

Stwierdzono, że współczynnik tarcia wewnętrznego i kohezja istotnie zależy zarówno od wilgotności jak od i średniego wymiaru cząstki rozdrobnionych nasion bobiku i wyki. Oddziaływanie tych czynników przedstawiono graficznie na Rys. 5 - 8.

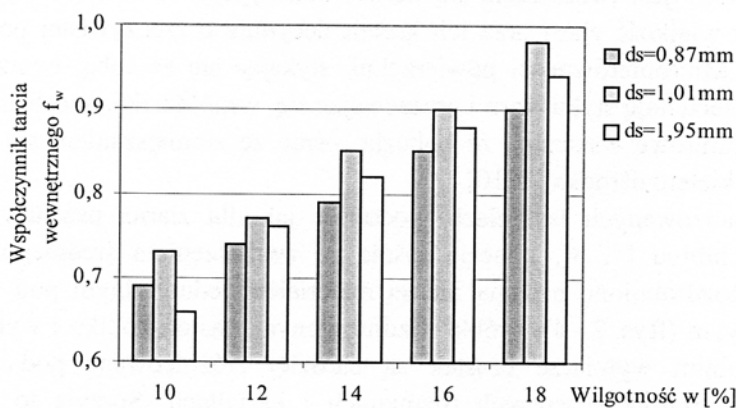
Zależności współczynnika tarcia wewnętrznego ( $f_w$ ) od wilgotności ( $w$ ) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) uzyskane dla poszczególnych próbek nasion bobiku i wyki przedstawiono na Rys. 5 - 6. Na podstawie uzyskanych zależności stwierdzono, że ze zwiększeniem wilgotności rośnie współczynnik tarcia wewnętrznego nasion bobiku i wyki niezależnie od stopnia rozdrobnienia materiału.

Najmniejsze wartości uzyskano dla surowców o wilgotności 10% i największym średnim wymiarze cząstki i wynoszą dla nasion: bobiku  $f_w=0,68$ ; wyki  $f_w=0,66$ . Natomiast największymi wartościami współczynnika tarcia wewnętrznego charakteryzują się nasiona o wilgotności 18%. Wartości te wynoszą dla: bobiku  $f_w=0,88$ ; wyki  $f_w=0,98$ . Analiza wyników badań wskazuje, że zakres zmienności współczynnika tarcia wewnętrznego zawiera się w przedziale od  $f_w=0,66$  do  $f_w=0,98$ .



**Rys. 5.** Zależność współczynnika tarcia wewnętrznego ( $f_w$ ) od wilgotności ( $w$ ) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) – nasiona bobiku.

**Fig. 5.** Relation of the internal friction coefficient ( $f_w$ ) to moisture content ( $w$ ) and mean particle size ( $d_s$ ) – seeds of horse bean.



**Rys. 6.** Zależność współczynnika tarcia wewnętrznego ( $f_w$ ) od wilgotności ( $w$ ) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) – nasiona wyki.

**Fig. 6.** Relation of the internal friction coefficient ( $f_w$ ) to moisture content ( $w$ ) and mean particle size ( $d_s$ ) – seeds of vetch.

Zwiększenie wilgotności od 10% do 18% każdego surowca powoduje wzrost współczynnika tarcia wewnętrznego o 20 - 40% zależnie od średniego wymiaru cząstki.

Analiza zależności wykazała także, że dla każdej wilgotności surowca występuje maksimum współczynnika tarcia wewnętrznego przy określonym średnim wymiarze cząstek (tendencje takie stwierdzono także dla ziarna pszenicy [8] oraz nasion grochu i łubinu [7]). Maksymalne wartości  $f_w$  uzyskano dla surowców o średnim wymiarze cząstek 1,01 mm (wyki) i 1,23 mm (bobik).

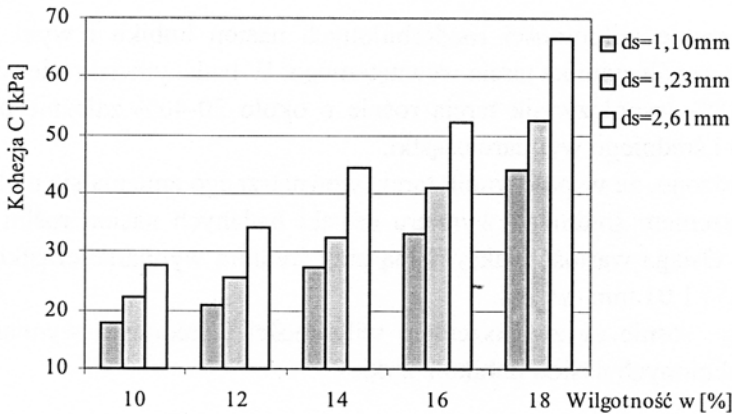
Zależności kohezji ( $C$ ) od wilgotności ( $w$ ) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) przedstawiono na Rys. 7 - 8. Z rysunków wynika, że kohezja rośnie ze zwiększeniem wilgotności i średniego wymiaru cząstki. Zmiany te są podobne dla badanych surowców. Najmniejsze wartości kohezji uzyskano dla surowców o najniższej wilgotności i najmniejszym średnim wymiarze cząstki (dla nasion bobiku  $C = 18$  kPa; wyki  $C = 18,89$  kPa). Natomiast najwyższymi wartościami kohezji charakteryzują się surowce o wilgotności 18% i dużym średnim wymiarze cząstek. Wartości te wynoszą dla nasion: bobiku  $C = 66,67$  kPa; wyki  $C = 67,78$  kPa.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają stwierdzenia zawarte w pracach [1, 8], że na siły spójności ziarn istotnie wpływają wilgotność i stopień rozdrobnienia materiału biologicznego. Wzrost kohezji ze zwiększeniem wilgotności materiału spowodowany jest tworzeniem się wiązań adhezyjnych w miejscu styku ziaren. Natomiast wielkość ziarn oraz ich kształt decyduje o rzeczywistej powierzchni kontaktu. Mikronierówności powierzchni, stykając się ze sobą, tworzą rzeczywistą powierzchnię styku ziarn i przesuując się, współdziałają mechanicznie [1]. Dane literaturowe wskazują, że kohezja rośnie ze zmniejszaniem się wielkości cząstek szkieletu ośrodka [2, 10].

W analizowanych badaniach, podobnie jak dla ziarna pszenicy i nasion grochu i łubinu [7, 8], kohezja rośnie ze zwiększeniem średniego wymiaru cząstki. Rozdrobnione nasiona nie są materiałem jednorodnym pod względem wymiarowym (Rys. 2 - 4). Próbkę rozdrobnionych nasion bobiku i wyki o większym średnim wymiarze cząstek są bardziej zróżnicowane pod względem zawartości cząstek o różnych rozmiarach i kształtach. Sprzyja to tworzeniu struktury charakteryzującej się budową bardziej zwartą z możliwością zwiększenia rzeczywistej powierzchni kontaktu a tym samym wytrzymałości poszczególnych wiązań szkieletu. Czynniki te można zatem uznać jako decydujące o sile spójności ziarn występujących w badanych próbkach nasion roślin strączkowych. Należy jednak przytoczyć stwierdzenia zawarte w pracach [1, 8, 10], że w materiałach ziarnistych pochodzenia roślinnego zjawisko kohezji nie występuje, a sam parametr kohezji wynika jedynie z matematycznej interpretacji uzyskanych wyników opracowanych w oparciu o liniowy warunek stanu granicznego

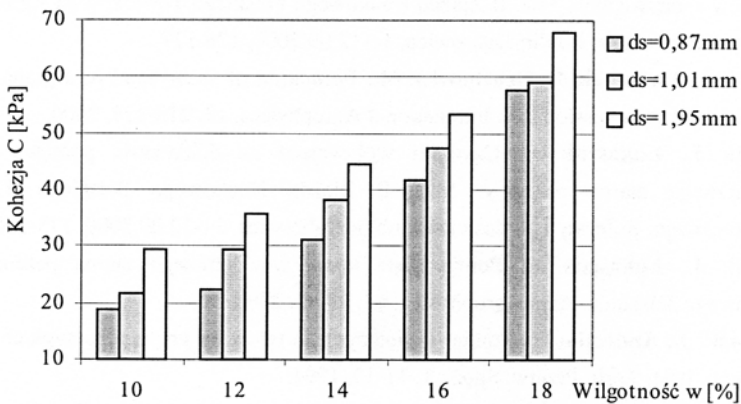


Coulomba–Mohra. Wydaje się, że w świetle dotychczasowych badań zjawisko kohezji pozostaje nadal nie wyjaśnione.



Rys. 7. Zależność kohezji (C) od wilgotności (w) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) – nasiona bobiku.

Fig. 7. Relation of the cohesion (C) to moisture content (w) and mean particle size ( $d_s$ ) – seeds of horse bean.



Rys. 8. Zależność kohezji (C) od wilgotności (w) i średniego wymiaru cząstki ( $d_s$ ) – nasiona wyki.

Fig. 8. Relation of the cohesion (C) to moisture content (w) and mean particle size ( $d_s$ ) – seeds of vetch.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zwiększenie wilgotności rozdrobnionych nasion bobiku i wyki powoduje wzrost współczynnika tarcia wewnętrznego. W badanym zakresie wilgotności 10%-18% współczynnik tarcia rośnie o około 20-40% zależnie od rodzaju nasion i średniego wymiaru cząstki.
2. Stwierdzono, że współczynnik tarcia wewnętrznego zmienia się nieliniowo ze zwiększeniem średniego wymiaru cząstki badanych nasion roślin strączkowych. Osiąga wartość maksymalną przy średnim wymiarze cząstki 1,23 mm (bobik) i 1,01 mm (wyka).
3. Kohezja rośnie ze zwiększeniem wilgotności i średniego wymiaru cząstki rozdrobnionych nasion bobiku i wyki.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Frączek J.:** Tarcie ziarnistych materiałów roślinnych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Zeszyt 252, Kraków 1999.
2. **Horabik J., Grochowicz M.:** Wyznaczanie parametrów plastycznego płynięcia sypkich surowców spożywczych. Mat. II Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego. Referaty i doniesienia, Lublin-Dąbrowica, 11-12.09.2000, 176-177.
3. **Horabik J., Łukaszuk J., Grochowicz M.:** Formation of shear band in a granular material during triaxial compression test. International Agrophysics, 14, 273-278, 2000.
4. **Horabik J., Łukaszuk J.:** Czynniki wpływające na dokładność pomiaru kąta tarcia wewnętrznego ziarna pszenicy. Mat. II Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego. Referaty i doniesienia, Lublin-Dąbrowica, 11-12.09.2000, 175-176.
5. **Horabik J., Łukaszuk J.:** Pomiar kąta tarcia wewnętrznego ziarna pszenicy metodą trójosiowego ściskania. Acta Agrophysica, 37, 39-49, 2000.
6. **Laskowski J., Andrejko D.:** Pomiar współczynnika tarcia wewnętrznego sypkich materiałów roślinnych. Post. Tech. Przetw. Spoż., 1, 11-13, 1994.
7. **Laskowski J., Skonecki S.:** Badania wpływu rozdrobnienie oraz wilgotności nasion grochu i łubinu na współczynnik tarcia wewnętrznego. Mat. X Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej nt. „Postęp w Inżynierii Żywności”, Kat. Masz. i Inż. Przem. Spoż. AR w Lublinie, Krynica 10-14.09.2001, 79-80.
8. **Laskowski J., Skonecki S.:** Pomiar współczynnika tarcia wewnętrznego pszenicy o różnej wilgotności i stopniu rozdrobnienia. Acta Agrophysica, 46, 95-104, 2001.

9. **Łukaszuk J., Stasiak M., Rusinek R., Horabik J.:** Wpływ wilgotności na kąt tarcia wewnętrznego ziarna zbóż. *Acta Agrophysica*, 46, 105-113, 2001.
10. **Molenda M., Horabik J., Grochowicz M., Szot B.:** Tarcie ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, 4, PAN, Lublin, 1995.

## INFLUENCE OF GRINDING RATE AND MOISTURE CONTENT OF SEEDS OF HORSE BEAN AND VETCH ON INTERNAL FRICTION COEFFICIENT

*J. Laskowski, S. Skonecki*

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Agriculture  
Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

**Summary.** Paper presents results of measurement of internal friction coefficient and cohesion for ground seeds of horse bean and vetch in relation to their moisture content and particle mean size. Study were carried out using the direct shear method. An increase in the internal friction coefficient and the cohesion with an increase in moisture content and mean particle size was observed.

**Key words:** Internal friction coefficient, horse bean, vetch, moisture, particle size.