

## METODA POMIARU SIŁY TARCIA WEWNĘTRZNEGO BIOLOGICZNYCH MATERIAŁÓW SYPKICH

*Jarosław Frączek*

Katedra Podstaw Budowy Maszyn  
Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

**Synopsis:** W pracy przedstawiono nową metodę pomiaru siły tarcia wewnętrznego, umożliwiającą przeprowadzenie badań wpływu wielu czynników decydujących o przebiegu procesu tarcia wewnętrznego.

**Słowa kluczowe:** tarcie, siła tarcia, tarcie wewnętrzne, biologiczne materiały sypkie.

### Wprowadzenie

W wielu procesach technologicznych produkcji rolniczej przetwarzane są materiały biologiczne będące układem dwu lub trójfazowym cechującym się między innymi znikomą wartością (bądź całkowitym brakiem) wytrzymałości na rozciąganie oraz znaczną ściśliwością. Zaliczyć je można do grupy tzw. ośrodków sypkich.

W celu zapewnienia prawidłowej eksploatacji istniejących i projektowania nowych maszyn i urządzeń przetwarzających, transportujących i magazynujących biologiczne materiały sypkie konieczne jest poznanie wielu ich cech i właściwości wpływających na przebieg procesu technologicznego. Za jedne z najważniejszych uważane są właściwości fizyczne, gdyż między innymi decydują one o zapotrzebowaniu energetycznym danej operacji a także często określają jakość surowca. Wyniki dotychczasowych badań nie są jeszcze wystarczające dla potrzeb szeroko rozumianej techniki rolniczej. Problem ten jest wyraźnie widoczny między innymi w przypadku zjawiska tarcia wewnętrznego, które odgrywa zasadniczą rolę w większości rolniczych procesów technologicznych.

W nowoczesnych procesach technologicznych następuje ciągły przepływ masy biologicznych materiałów sypkich. Niezmiernie ważne jest zatem określenie wielkości oporów występujących w trakcie transportu, mieszania, zagęszczania, przechowywania i innych zabiegów. Ich wartość jest miarą tarcia wewnętrznego występującego między przemieszczającymi się względem siebie warstwami lub cząsteczkami tego samego ośrodka [6]. Precyzyjne określenie wektora tej siły jest bardzo trudne ze względu na brak jednorodności wynikający z nieciągłej budowy komórkowej i wielofazowej struktury oraz ciągła zmienność cech fizycznych biologicznych materiałów sypkich. Pociąga to za sobą duży rozrzut wyników i utrudnia możliwość ich wykorzystania. Powstałe modele teoretyczne i empiryczne zazwyczaj sprawdzają się jedynie w wąskich warunkach eksperymentu (zmiana tych warunków - nawet bardzo mała - niejednokrotnie powoduje konieczność wykorzystania innego modelu).

### **Metodyczne aspekty pomiaru siły tarcia**

W badaniach tarcia biologicznych materiałów sypkich stosuje się metody wykorzystywane w mechanice gruntów (głównie takich jak piasek i żwir). Dotyczy to zarówno sposobu matematycznego opisu jak i eksperymentalnych metod pomiarowych. W związku z tym pomiary przeprowadzane są przy użyciu klasycznej aparatury. Są to przede wszystkim aparaty bezpośredniego ścinania o ruchu prostoliniowym i obrotowym jak również aparaty trójosiowego ściskania. Zarówno jedne jak i drugie mają jednak wiele wad, które ograniczają ich stosowalność. Do najważniejszych należą [3]:

- przy bezpośrednim ścinaniu: nierównomierny rozkład naprężeń normalnych i stycznych w wymuszonej płaszczyźnie ściecia, trudności związane z określeniem stanu naprężeń na płaszczyźnie ściecia, niejednoczesne osiąganie stanu granicznego na całej powierzchni (zaczyna się on rozwijać od krawędzi), zmniejszenie powierzchni ściecia w czasie pomiaru, niejednoczesne osiąganie stanu granicznego na całej powierzchni
- zaś przy trójosiowym ściskaniu - wpływ wymiarów i kształtu próbki na uzyskiwane wyniki, skomplikowane i trudne w realizacji przeprowadzenie doświadczenia, trudny i niedokładny pomiar odkształcenia pionowego i bocznego, brak możliwości regulacji wielkości przemieszczenia.

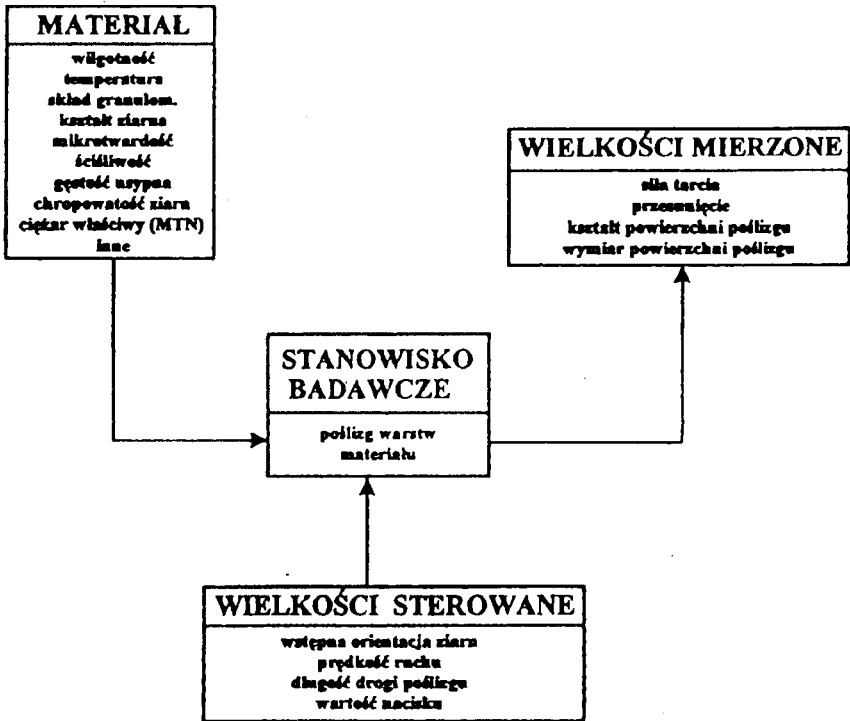
Pomiar siły tarcia przy użyciu aparatu trójosiowego ściskania jest bardziej dokładny. Biorąc jednak pod uwagę dużą zmienność czynników wpływających na wartość tej siły - a zatem konieczność statystycznego opracowania uzyskanych wyników - duża czasochłonność wykonywanego pomiaru stawia pod znakiem zapytania przydatność tej metody w badaniach zjawiska tarcia wewnętrznego. Z tych też względów - mimo większej ilości wad - szerokie zastosowanie w tego typu badaniach znalazły aparaty bezpośredniego ścinania.

Wymienione powyżej sposoby pomiaru siły tarcia były wykorzystywane wielokrotnie przez różnych autorów. Powstało również wiele modyfikacji wymienionych metod (np. aparat pierścieniowy) oraz nowych rozwiązań (np. aparat Schwedesa). Mimo tego do tej pory zjawisko tarcia wewnętrznych biologicznych materiałów sypkich nie zostało w pełni wyjaśnione [1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10]. Wiele prób dopasowania różnych teorii trybologicznych wykazało ich ograniczoną stosowalność. Być może powodem takiej sytuacji są duże różnice występujące między budową i właściwościami mineralnych i biologicznych ośrodków sypkich. Dodatkowe rozbieżności powoduje fakt, iż do opisu tego zjawiska posilkowano się elementami teorii mechaniki ośrodków ciągłych, której stosowalność jest bardzo ograniczona w przypadku materiałów biologicznych.

Wydaje się, że z wymienionych powyżej powodów wskazana jest zmiana sposobu podejścia do problemu tarcia wewnętrznych biologicznych ośrodków sypkich. Zdecydowanie większy nacisk należy położyć na badania dotyczące wpływu różnych czynników na wielkość oporów wewnętrznych. Wyniki dotychczasowych badań pozwoliły wprowadzić na ustalenie szeregu czynników modyfikujących wartość współczynnika tarcia a zatem determinujących przebieg poślizgu warstw materiału ale ich wpływ analizowano pojedynczo, bez uwzględnienia ewentualnej interakcji. Celowym jest zatem podjęcie próby opisu tego zjawiska poprzez funkcję wielu zmiennych, do których zaliczyć należy zarówno cechy przemieszczającego się materiału jak i czynniki decydujące o dynamice zachodzącego procesu. Zamierzony cel można zrealizować posilkując się badaniami empirycznymi.

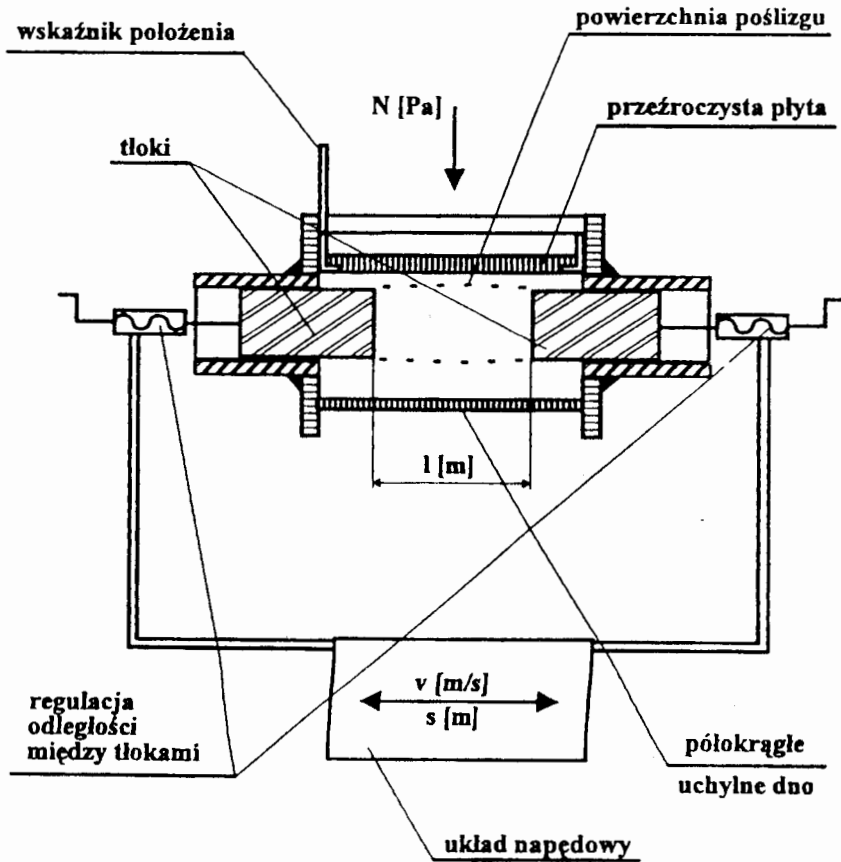
### **Nowa metoda pomiaru siły tarcia wewnętrznego**

Tak więc zgodnie z przytoczonymi uwagami celem prezentowanych poszukiwań było opracowanie metody pomiaru siły tarcia wewnętrznych biologicznych materiałów sypkich oraz koncepcji stanowiska umożliwiającego kompleksowe badania tarcia wewnętrznych z uwzględnieniem czynników decydujących o przebiegu tego zjawiska. Badania te powinny umożliwić wypracowanie ogólnej teorii uniwersalnej dla biologicznych materiałów sypkich.



Rys.1 Schemat blokowy systemu technicznego realizującego założoną funkcję celu Fig.1. Block diagram of a technical system realizing assumed objective function.

Dla zapewnienia i dobrego odzwierciedlenia warunków rzeczywistych, koncepcję rozwiązania oparto na założeniu, że powierzchnia poślizgu powstawała będzie na skutek przemieszczania się porcji materiału ziarnistego w pewnej jego objętości. Można zatem powiedzieć, że będzie to proces prostego ścinania zachodzący na określonej powierzchni tworzącej się w sposób samoistny. Założono również, że powierzchnia poślizgu powinna być stała w czasie pomiaru. Zgodnie z prezentowanym na rys.1 schematem blokowym, stanowisko badawcze powinno stanowić system techniczny, w którym realizowany jest poślizg warstw materiału określonego poprzez szereg cech, do których należą między innymi własności wytrzymałościowe, geometryczne, mechaniczne. Powinna istnieć również możliwość zmian pewnych wielkości w trakcie przebiegu procesu.

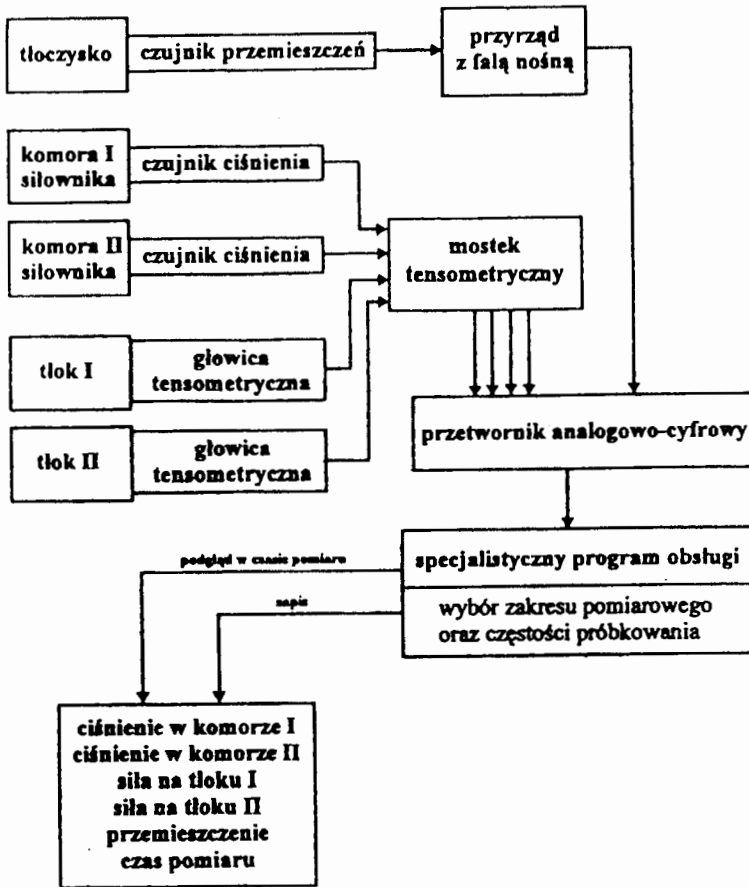


Rys.2 Schemat ideowy stanowiska do pomiaru siły tarcia biologicznych materiałów sypkich

Fig.2. Schematic diagram of the stand for measuring friction force in loose biological materials.

Na rys.2 przedstawiono schemat ideowy urządzenia realizującego wszystkie wymienione założenia. Zgodnie z rysunkiem powierzchnia poślizgu będzie powstawała na skutek przesuwania porcji materiału znajdującej się między dwoma związanymi sztywno tłokami. Przy zapewnieniu odpowiedniej odległości między nimi powierzchnia ta będzie miała kształt pobocznic walca. Zatem miarą wewnętrznego oporu ośrodka będzie wartość siły tarcia mierzona na powierzchni czołowej tłoka wymuszającego.

W roku ubiegłym podjęto próbę realizacji powyższych ustaleń i w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn Wydz. Techniki i Energetyki Rolnictwa zbudowano stanowisko do badania tarcia wewnętrznego.



Rys.3. Schemat blokowy układu pomiarowego.

Fig.3. Block scheme of measuring system.

Układ mechaniczny zaopatrzony został w układ pomiarowy sprzężony z komputerem. Zgodnie ze schematem blokowym zamieszczonym na rys.3, umożliwia on pomiary i rejestrację następujących wielkości:

- siły tarcia wewnętrznego - poprzez układ tensometrów naklejony w specjalnej głowicy mocowanej na czołowych powierzchniach tłoka. Jej konstrukcja umożliwia również przebadanie rozkładu naprężeń na średnicy tłoka. W celu zapewnienia małego błędu pomiaru siły, przewidziano zastosowanie kilku wymiennych głowic tensometrycznych o różnym zakresie pomiarowym,
- sumarycznej siły oporu - poprzez określenie różnicy ciśnień między komorami siłownika hydraulicznego stosowanego do napędu tłoków. Daje to możliwość ustalenia siły tarcia zewnętrznego występującej między ziarnem a

pobocznica łożka. Można ją obliczyć jako różnicę między wartością oporu sumarycznego oraz siły oporu mechanicznego (ustalonej przed napełnieniem zbiornika) i siły tarcia wewnętrzznego (mierzonej przez tensometry),

- przemieszczenia.

Tabela 1

Liczebność próby reprezentatywnej

Table 1

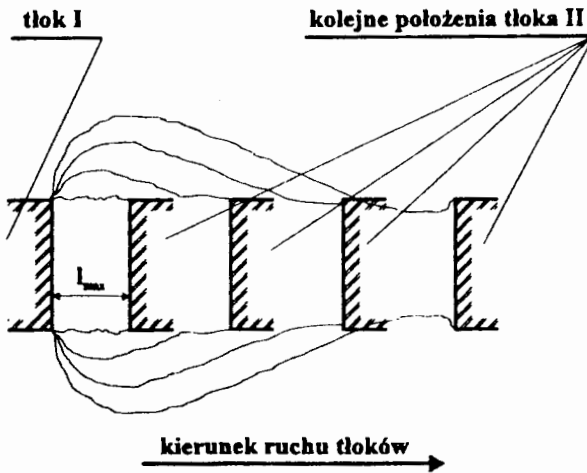
Size of representative material sample.

zboże	prędkość posuwu [m/s]	średnia siła tarcia [N]	odchylenie stand. $S^2$	liczba pomiarów
pszenica	0,001	60,4	14,24	6
Grana	0,01	79,6	16,49	4
żyto	0,001	103,08	34,57	5
Dańkowskie Żł.	0,01	140,56	102,85	8
pszenżyto	0,001	96,7	42,6	7
Gabo	0,01	122,8	49,07	5

### Badania testacyjne stanowiska

Przeprowadzono również badania testacyjne prezentowanego stanowiska. Jako materiał badawczy posłużyły ziarna pszenicy Grana, żyta Dańkowskie Żłote oraz pszenżyta odmiany Gabo. Pozwoliło to na ustalenie pewnych warunków wstępnych. W pierwszej kolejności określono maksymalną odległość łożek, przy której powierzchnia tarcia osiąga założony kształt pobocznicy walca. W przypadku badanych trzech zbóż wynosi ona 5 cm. Przebieg zmian kształtu powierzchni poślizgu w zależności od odległości między łożkami pokazano na rys.4.

Ustalono również wstępnie niezbędną liczbę pomiarów w przypadku ziarna wymienionych zbóż dla wilgotności 12%, nacisku  $N = 31$  [kPa], oraz prędkości posuwu 0,001 [m/s] i 0,01 [m/s]. Obliczone wartości (przy założonym maksymalnym błędzie szacunku 5% oraz współczynniku ufności 0,95) uwidocznione są w tab.1. Stosunkowo mała liczebność próby reprezentatywnej świadczy o dużej powtarzalności uzyskanych pomiarów.



Rys.4 Kształt powierzchni poślizgu w zależności od odległości między tłokami.

Fig.4 Shape of slip surface depending on the distance between pistons.

### Podsumowanie

Przedstawione badania należy traktować jedynie jako wstępne rozeznanie. Wykazały jednak słuszność przyjętej metody pomiaru siły tarcia wewnętrznego biologicznych materiałów sypkich. Prezentowane stanowisko pozwoli na prowadzenie kompleksowych badań tarcia wewnętrznego dla różnych materiałów rolniczych. Dzięki możliwości uzyskania dużych przesunięć można dokonać wyraźnego rozgraniczenia między tarciem wewnętrznym spoczynkowym - charakterystycznym dla początku płynięcia a tarciem wewnętrznym ustalonym - występującym w ustalonych warunkach ruchu. Należy również dodać, że poprzez zastosowanie odpowiedniego cylindra istnieje możliwość przeprowadzania próby ściskania dla wymienionych materiałów.



### Literatura

1. Frontczak J. "Testing the effect of varying moisture content on internal friction factor, natural slip angle, layer porosity and natural slip density of Kb-270 and Beko-210 mark corn grain" *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* z.399, 1993
2. Frontczak J., Metzger T. "Próba określenia zależności współczynnika tarcia od twardości i wilgotności ziarna kukurydzy", *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.316,1987
3. Glazer Z. "Mechanika gruntów" Wydawn. Geolog., Wa-wa 1985
4. Grochowicz M. "Wpływ niektórych czynników fizycznych na tarcie wewnętrzne roślinnego materiału ziarnistego", praca doktorska, Zakład Agrofizyki PAN, Lublin 1986
5. Grochowicz M., Horabik J., Molenda M. "Zastosowanie aparatu trójosiowego ściskania do badania właściwości mechanicznych ośrodków rozdrobnionych pochodzenia roślinnego", *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.320, 1987
6. Hebda M., Wachal A. "Trybologia", WNT, Wa-wa, 1980
7. Hoffman O. H. "Neuere Grundlagen der Mechanik Körniger Haufwerk" *Grundl. Landtechnik Bd.*, 25/2, 1975
8. Horabik J., Molenda M. "Wpływ orientacji przestrzennej ziarna na kąt tarcia wewnętrznego mierzony metodą trójosiowego ściskania", *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.351, 1988
9. Moysey E.B., Shane Hiltz "Friction properties of fertilizers" *Can. Agric. Engin.*, vol.27, no.2,1985
10. Schwedes J. "Evolution of bulk solids" *BSH vol.3*, no.1, 1983

### **Method of measuring internal friction forces in biological loose materials**

*Jarosław Frączek*

### **Summary**

Difficulties connected with measuring internal friction force in biological loose materials were discussed. New method for these measurements was proposed. The method is based on spontaneous self-action formation of cylindrical slip surface where - much closer than until now - the real conditions are reflected. Preliminary tests on a special experimental stand, where the above requirements were fulfilled, confirmed assumed conception and showed high accuracy of measurements as well as the universal usefulness of designed measuring device.