

## WSPÓŁCZYNNIK TARCIA ZEWNĘTRZNEGO WYBRANYCH GRANULATÓW PASZOWYCH

Tomasz Hebda

*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań mające na celu określenie wpływu zmiennego kondycjonowania oraz przeznaczenia granulatu paszowego na współczynnik tarcia zewnętrznego. Siłę tarcia wyznaczano za pomocą maszyny wytrzymałościowej MTS Insight II. Badania przeprowadzono na pięciu granulatach: DJ 2, DKA, DKA G LUX, KMO i PP Prestarter II, kondycjonowanych trzema różnymi sposobami: Standard, Standard + 5°C oraz Standard + lepiszcze syntetyczne. Zaobserwowano skokową naturę procesu tarcia zewnętrznego. Proces przemieszczania składa się z następujących po sobie okresów spoczynku i ruchu. Wartość siły tarcia oraz współczynnika tarcia zewnętrznego zależy od sposobu kondycjonowania paszy granulowanej przy jej produkcji oraz od jej przeznaczenia.

**Słowa kluczowe:** pasze, kondycjonowanie, współczynnik tarcia

### Wstęp

W okresie szybkiego rozwoju rolnictwa oraz dużej intensyfikacji produkcji zwierzęcej coraz większą rolę przywiązuje się do jakości pasz, w tym pasz granulowanych. Według Grochowicza [1996] jakość granulatu paszowego zależy od cech surowców użytych do kompaktowania oraz ich kompozycji. Natomiast właściwości granulatu zależą w dużej mierze od składu mieszanki oraz lepiszcza użytego do jej produkcji.

Ważne jest zatem poznanie tych właściwości fizycznych granulatów, które ułatwiają ich transport, przechowywanie i dozowanie. Ważny jest opis zjawiska tarcia nie tylko pomiędzy granulatem a urządzeniami, ale także między samym produktem aglomeracji.

Jak podaje wielu naukowców [Molenda i in. 1995; Frączek 1999; Ślipek i in. 1999; Frączek i in. 2000] na wartość współczynnika tarcia zewnętrznego ma wpływ rodzaj stykających się powierzchni, prędkość ich ruchu, pole powierzchni kontaktu oraz wartość siły potrzebnej na deformację nierówności powierzchni.

### Cel pracy

W związku z powyższym celem pracy było wyznaczenie wartości współczynnika tarcia zewnętrznego wybranych granulatów paszowych. Dodatkowo w pracy podjęto próbę określenia wpływu sposobu produkcji granulatów na wyżej wymienioną właściwość.

## Metodyka

Granulaty paszowe użyte do badania to:

1. Przeznaczone dla drobiu:
    - DKA - mieszanka typu grower dla brojlerów kurzych w chowie przydomowym o zawartości 3% tłuszczu,
    - DKA - G LUX- mieszanka typu grower dla brojlerów kurzych w chowie fermowym o zawartości 5% tłuszczu,
    - DJ2 - mieszanka dla niosek w chowie przydomowym bez dodatku tłuszczu.
  2. Przeznaczone dla trzody chlewnej:
    - PP prestarter II - mieszanka dla prosiąt od 10 kg masy ciała do odsadzenia.
  3. Przeznaczone dla królików:
    - KMO - dla młodzieży rosnącej i opasów króliczych
- Materiał badawczy obejmował grupy mieszanek wyprodukowane w następujący sposób:
- produkcja standardowa - granulatu, który produkowany jest w temperaturze kondycjonowania ok. 180°C,
  - standard + 5°C - granulatu, przy produkcji którego temperaturę pary wodnej na kondycjonerze zwiększono o około 5°C,
  - standard + lepszycze syntetyczne – granulatu, w skład którego wchodziło lepszycze syntetyczne podwyższono udział tego składnika o 0,1%, a w granulacie nie zawierającym w recepturze lepszycza wprowadzono je w ilości 0,1%.

Przed przystąpieniem do badania granulatu przesiano przez sита laboratoryjne w celu uzyskaniu najliczniejszej frakcji.

Pomiar zawartości wody w granulacie wykonywany był za pomocą wago-suszarki WPE-300S. Przed umieszczeniem próbek w komorze suszenia granulatu rozkruszano w celu szybszego i dokładniejszego pomiaru. Następnie próbki o masie 2,5 grama suszone były w temperaturze 130°C przy czasie próbkowania 10 sekund [PN – 91/A – 74010].

Badanie siły tarcia zostało przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej MTS Insight II (rys. 1). Urządzenie do pomiaru siły tarcia składało się z podstawy, po której przemieszczał się badany materiał oraz kasety pomiarowej zawierającej materiał. Kasetka pomiarowa o wymiarach 245x123 mm składała się z rolek, dzięki którym porusza się po płaszczyźnie (w tym przypadku była to deska, której powierzchnia pokryta była aluminium). Nieodłączną częścią kasetki była pokrywa dociskająca.

Badany materiał, o ustalonej wcześniej masie (1 kg), był zasypywany do kasetki pomiarowej. Masa ta była stała dla każdego granulatu. Wyznaczanie siły tarcia odbywało się przy następujących wartościach nacisku 3, 13, 23, 33 oraz 43N. Siła nacisku była zmieniana za pomocą odważników o odpowiedniej masie. Prędkość ruchu kasetki wynosiła 10 mm·min<sup>-1</sup> i była jednakowa dla każdego granulatu.

Wartości współczynnika tarcia zostały obliczone według wzoru 1:

$$T = \mu \cdot N \quad (1)$$

gdzie:

- $\mu$  – współczynnik tarcia,
- $T$  – siła tarcia [N],
- $N$  – siła nacisku [N].



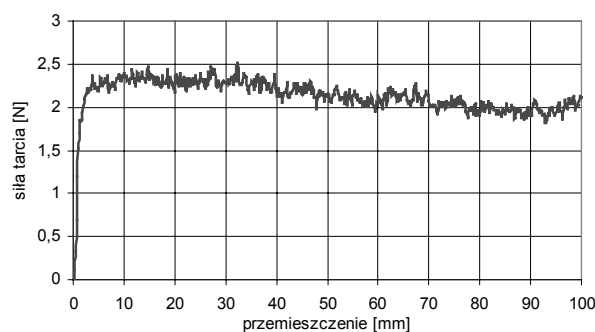
Rys. 1. Maszyna wytrzymałościowa MTS Insight II wraz z kasetą pomiarową  
Fig. 1. The MTS Insight II testing machine with measuring cassette

## Wyniki

Typowy kształt krzywych  $T = f(s)$  uzyskanych w czasie eksperymentu, zarejestrowany dla paszy DJ2 przedstawiono na wykresie (rys. 2). Chropowatość powierzchni blachy aluminiowej wynosiła  $R_a = 22 \mu\text{m}$ , natomiast wilgotność granulatu 8%. Pierwszą fazę ruchu można zaliczyć do równowagi chwiejnej, gdyż „zgodnie z ogólnym prawem tarcia zewnętrznego mówiącego o tym, że jeżeli prędkość względna trących się ciał dąży do 0 to siła tarcia dąży do pewnej wartości skończonej. Następuje wówczas zerwanie przyczepności badanego materiału z podłożem co powoduje zwiększenie siły nacisku zgodnej z kierunkiem wymuszenia” [Ślipek i in. 1999]. Procesowi temu towarzyszy w tym rejonie sprężysto – plastyczne odkształcenie warstw wierzchnich stykających się ciał. Po przekroczeniu granicznej wartości siły tarcia dochodzi do poślizgu granulatu na całej powierzchni kontaktu. Tarcie spoczynkowe przechodzi w tarcie ruchowe. W trakcie tego ruchu wartość siły tarcia spada do pewnego minimum.

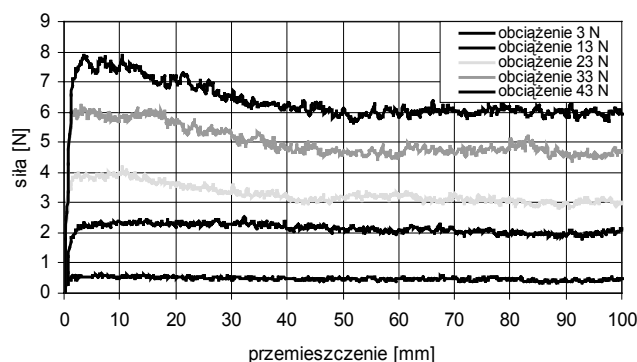
Innym charakterystycznym zjawiskiem, które można zaobserwować na wykresie jest tzw. tętnienie siły tarcia, która zmniejsza się wraz ze zwiększeniem drogi tarcia. W trybologii taki rodzaj ruchu skokowo – poślizgowego nosi nazwę stick – slick (zatrzymanie – poślizg). Przy zapewnionym jednostajnym ruchu całego systemu proces przemieszczania składa się z dwóch wzajemnie po sobie następujących etapów ruchu:

- wzajemnego spoczynku,
- ruchu po pokonaniu siły tarcia spoczynkowego [Bucklin i in. 1996].



Rys. 2. Przykładowy przebieg dla granulatu DJ2  
 Fig. 2. Model trajectory for the DJ2 granulate

Na wykresie (rys. 3) przedstawiono zależność siły tarcia od przemieszczenia dla mieszanki DJ2 standard pod działaniem obciążenia w zakresie od 3 do 43 N. Możemy zaobserwować, że wraz ze wzrostem siły obciążającej wartość siły tarcia zwiększa się. We wszystkich przypadkach występuje narastanie siły tarcia aż do momentu zerwania przyczepności między granulem. Maksymalna siła tarcia wynosiła odpowiednio dla danych obciążeń 0,596 N (dla 3 N), 2,38 N (13 N), 3,98 N (dla 23 N), 6,2 N (33 N), a przy obciążeniu 43 N - 7,86 N. Następnie możemy zauważyć spadek wartości siły tarcia. W tym okresie następuje zmiana ułożenia poszczególnych granuli zapewniająca minimalny opór. W dalszej części następuje ustabilizowanie się wartości siły tarcia.

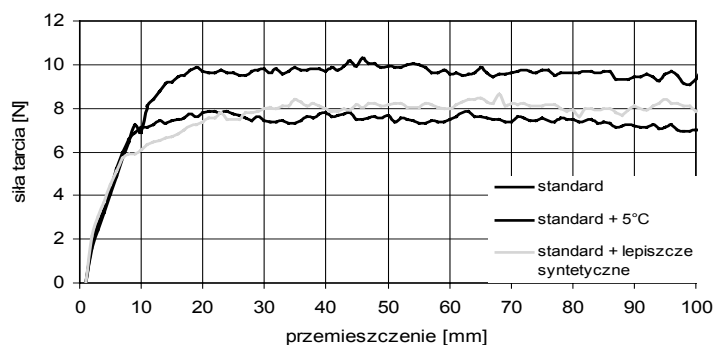


Rys. 3. Zmiana wartości siły tarcia uzyskana przy różnym obciążeniu kasety pomiarowej dla paszy DJ 2 Standard  
 Fig. 3. Change in friction force value obtained at different measuring cassette loads for the DJ 2 Standard feed

Na kolejnym wykresie (rys. 4) przedstawiono zależność siły tarcia badanych granulatów paszowych wyprodukowanych przy uwzględnieniu sposobu kondycjonowania i dodatku lepiszcza. Wykres dla w/w zależności przedstawiono na przykładzie granulatu dla kur

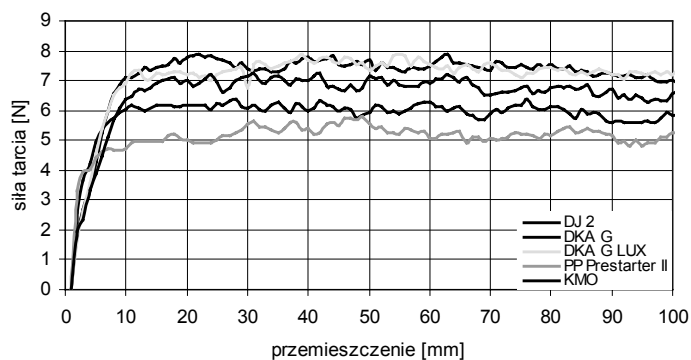
## Współczynnik tarcia zewnętrznego...

DJ2 przy obciążeniu 43 N. Maksymalna siła tarcia dla kondycjonowania przeprowadzonego w temperaturze 180°C wyniosła 7,87 N, dla granulatu kondycjonowanego w temperaturze 185°C - 10,32 N, natomiast dla granulatu z dodatkiem lepiszcza syntetycznego - 8,62 N. Na wykresie można zauważyć podobieństwo w wartościach sił, a co za tym idzie przebiegu wykresu granulatu standard i standard + lepiszcze syntetyczne, natomiast granulatu standard + 5°C znacznie różni się zarówno w przebiegu wykresu jak również w wartościach sił.



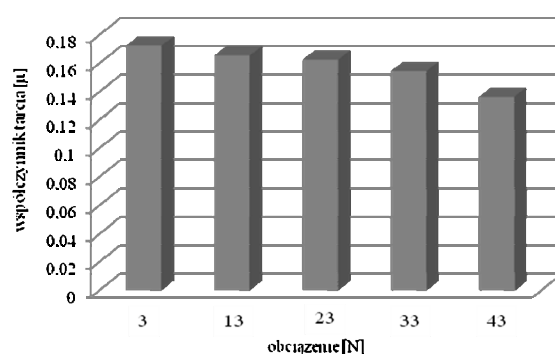
Rys. 4. Wpływ sposobu kondycjonowania na wartości siły tarcia (obciążenie 43 N, pasza DJ 2)  
Fig. 4. Conditioning method impact on friction force values (load: 43 N, feed: DJ 2)

W dalszej kolejności porównano granulaty wytworzone w tej samej technologii (kondycjonowanych standardowo), przeznaczone dla drobiu, królików oraz trzody chlewnej. Na wykresie (rys. 5) przedstawiono porównanie różnych typów pasz. Maksymalne wartości sił wyniosły dla granulatu DJ2 - 7,87 N, dla DKA G - 6,37 N, dla DKA G LUX - 7,86 N, dla PP Prestarter II - 5,8 N, natomiast dla granulatu KMO - 7,24 N. Można również zauważyć małe różnice między granulatem DJ2, DKA G LUX jak również KMO. Co do pozostałych granulatów wartości siły tarcia są znacznie mniejsze od pierwszych trzech.



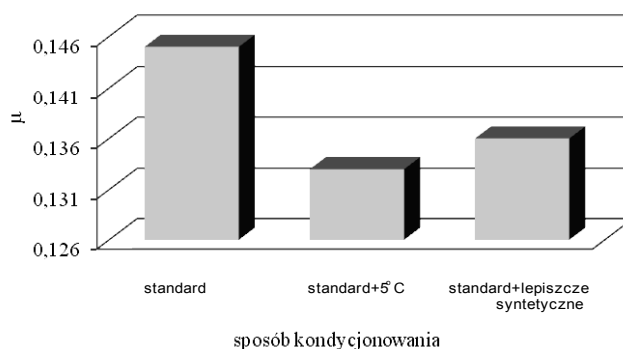
Rys. 5. Zmiana wartości siły tarcia granulatów paszowych, kondycjonowanych standardowo (obciążenie kasety pomiarowej 43 N)  
Fig. 5. Change in friction force values for feed granulates conditioning in a standard way (measuring cassette load: 43 N)

Kolejny wykres (rys. 6) przedstawia porównanie wartości współczynnika tarcia w zależności od obciążenia jakim została poddana kasetta pomiarowa na przykładzie granulatu DKA G LUX przeznaczonego do karmienia kur. Można zauważyć, że wraz z wzrostem obciążenia maleje wartość współczynnika tarcia. Przykładowe wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wykres (rys. 7) przedstawia porównanie zmian wartości współczynnika tarcia badanego granulatu paszowego w zależności od sposobu produkcji, na przykładzie granulatu DKA G LUX. Zauważyć można, że największą wartość współczynnika zaobserwowano dla paszy kondycjonowanej standardowo, natomiast najmniejszą dla kondycjonowanej w temperaturze 185°C.



Rys. 6. Przykładowe wartości średnie współczynnika tarcia przy różnym obciążeniu dla granulatu DKA G LUX

Fig. 6. Examples of friction coefficient mean values at different loads for the DKA G LUX granulate



Rys. 7. Porównanie granulatu DKA G LUX pod kątem sposobu kondycjonowania przy obciążeniu kasety pomiarowej 43N

Fig. 7. Comparison of the DKA G LUX granulate, paying special attention to conditioning method at measuring cassette load of 43N

Na dalszym etapie opracowania badań przeprowadzono testy statystyczne. Wykonano trzyczynnikowy test analizy wariancji. W celu sprawdzenia różnic badanych materiałów wykonano test Duncana. Jako czynniki główne przyjęto przeznaczenie, sposób kondycjo-

Współczynnik tarcia zewnętrznego...

nowania oraz siłę nacisku. W tabeli 1 przedstawiono wyniki testu dla czynników głównych. W przypadku wszystkich czynników nie zaobserwowano grup jednorodnych, co świadczy o występowaniu statystycznie istotnych różnic w wartości współczynnika tarcia badanych granulatach. Istotna okazała się również interakcja pomiędzy siłą nacisku x sposób kondycjonowania. Wybrany test Duncana dla w/w interakcji przedstawiono na przykładzie paszy PP Prestarter II (tab. 2). Test wykazał cztery grupy homogeniczne w obrębie badanego czynnika.

Tabela 1. Test Duncana dla czynników głównych  
Table 1. Duncan's test for main factors

Czynnik	Grupy homogeniczne				
Przeznaczenie	X <sub>2</sub> gdzie: X <sub>1</sub> = 3,41 x <sub>1</sub> – pasza dla kur	X <sub>3</sub> X <sub>2</sub> = 2,73 x <sub>2</sub> – pasza dla króli	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> = 3,20 x <sub>3</sub> – pasza dla trzody chlewnej		
Sposób kondycjonowania	X <sub>3</sub> gdzie: X <sub>1</sub> = 0,162 x <sub>1</sub> – standard	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> = 0,162 x <sub>2</sub> – standard+5°C	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> = 0,127 x <sub>3</sub> – standard + lepszycze syntetyczne		
Siła nacisku	X <sub>2</sub> gdzie: X <sub>1</sub> =0,162 X <sub>1</sub> =3N	X <sub>5</sub> X <sub>2</sub> =0,125 X <sub>2</sub> =13N	X <sub>3</sub> X <sub>3</sub> =0,139 X <sub>3</sub> =23N	X <sub>4</sub> X <sub>4</sub> =0,142 X <sub>4</sub> =33N	X <sub>1</sub> X <sub>5</sub> =0,138 X <sub>5</sub> =23N

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 2. Test Duncana dla interakcji siła nacisku x rodzaj paszy  
Table 2. Duncan's test for the interaction: pressure force x feed type

Czynnik	Grupy homogeniczne																								
Nacisk x rodzaj	X <sub>6</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>										
	gdzie: X <sub>1</sub> =0,178					X <sub>2</sub> =0,176					X <sub>3</sub> =0,132					X <sub>4</sub> =0,120					X <sub>5</sub> =0,159				
	X <sub>6</sub> =0,097					X <sub>7</sub> =0,127					X <sub>8</sub> =0,162					X <sub>9</sub> =0,131					X <sub>10</sub> =0,129				
	X <sub>11</sub> =0,159					X <sub>12</sub> =0,140					X <sub>13</sub> =0,116					X <sub>14</sub> =0,158					X <sub>15</sub> =0,139				
Oznaczenia: X <sub>1</sub> =standard-3N X <sub>6</sub> =standard+5°C-3N X <sub>11</sub> = standard+ lepszycze syntetyczne-3N X <sub>2</sub> =standard-13N X <sub>7</sub> =standard+5°C-13N X <sub>12</sub> =standard +lepszycze syntetyczne-13N X <sub>3</sub> =standard-23N X <sub>8</sub> =standard+5°C-23N X <sub>13</sub> =standard +lepszycze syntetyczne-23N X <sub>4</sub> standard-33N X <sub>9</sub> =standard+5°C-33N X <sub>14</sub> = standard +lepszycze syntetyczne-33N X <sub>5</sub> =standard-43N X <sub>10</sub> = standard+5°C-43N X <sub>15</sub> = standard +lepszycze syntetyczne-43N																									

Źródło: obliczenia własne autora

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe było sformułowanie następujących wniosków:

1. Wykazano skokową naturę procesu tarcia zewnętrznego. Proces przemieszczania składa się z następujących po sobie okresów spoczynku i ruchu. Zjawisko to jest zależne od prędkości poślizgu – im jest ona mniejsza tym amplituda skoku jest większa.
2. Wartość siły tarcia oraz współczynnika tarcia zewnętrznego zależy od sposobu kondycjonowania paszy granulowanej przy jej produkcji.
3. Istotny wpływ na badane cechy paszy granulowanej ma również jej przeznaczenie.
4. Przeprowadzone testy statystyczne nie wykazały istnienia grup homogenicznych w obrębie czynników głównych (przeznaczenie, sposób kondycjonowania oraz siła nacisku). Obliczenia te potwierdzają zatem wcześniejsze obserwacje co do wpływu wybranych czynników na wartość współczynnika tarcia.

## Bibliografia

- Bucklin R. A., Molenda M., Bridges T. C., Ross I. J.** 1996. Slip – Stick frictional behavior of wheat on galvanized steel. *Trans. Of the ASAE*, 39 (2). s. 649-653.
- Frączek J.** 1999. Tarcie ziarnistych materiałów roślinnych. *Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*. Zeszyt 252. Kraków. ISSN 1233-4189.
- Frączek J., Kaczorowski J., Ślipek Z.** 2000. Pomiar rzeczywistej powierzchni kontaktu trących się materiałów. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 7(18). Kraków. s. 55-63.
- Grochowicz J.** 1996. *Technologia produkcji mieszanek paszowych*. PWRiL. Warszawa. ISBN. 83-09-01656-5.
- Kram B. B.** 2006. Badania współczynnika tarcia zewnętrznego ziarna zbóż w funkcji wilgotności. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3(78). Kraków. s. 175-182.
- Molenda M., Horabik J., Grochowicz M., Szot B.** 1995. Tarcie ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, 4, PAN, Lublin. ISSN 1234-4125.
- Ślipek Z., Kaczorowski J., Frączek J.** 1999. *Analiza teoretyczno-doświadczalna tarcia materiałów ziarnistych*. PTIR. Kraków, ISBN 83-907553-9-4.



## **EXTERNAL FRICTION COEFFICIENT FOR SELECTED FEED GRANULATES**

**Abstract.** The paper presents results of the research carried out in order to determine the impact of variable conditioning and feed granulate intended use on external friction coefficient. Friction force was determined using the MTS Insight II testing machine. Five granulates were examined: DJ 2, DKA, DKA G LUX, KMO and PP Prestarter II. They were conditioned using three different methods: Standard, Standard + 5°C and Standard + synthetic binder. Stepwise character of external friction process was observed. Relocation process consists of successive rest and motion periods. The values of friction force and external friction coefficient depend on granulated feed conditioning method used during production and its intended use.

**Key words:** feeds, conditioning, friction coefficient

**Adres do korespondencji:**

Tomasz Hebda; e-mail: [Tomasz.Hebda@ur.krakow.pl](mailto:Tomasz.Hebda@ur.krakow.pl)  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Ul. Balicka 120  
30-149 Kraków