

WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKÓW TARCIA ROZDROBNIONYCH PĘDÓW MISKANTA OLBRZYMIEGO

Jarosław Frączek Tomasz Reguła

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy zaprezentowano wyniki badań dotyczących tarcia kinetycznego i statycznego rozdrobnionych pędów miskanta olbrzymiego. Jako czynniki stymulujące przebieg tego zjawiska uwzględniono: wilgotność pędów, siłę nacisku oraz rodzaj materiału konstrukcyjnego. Stwierdzono istotność wpływu wilgotności na wartość współczynników tarcia obliczonych według modelu Coulomba dla tarcia statycznego oraz modelu Amontonsa dla tarcia kinetycznego. Zaproponowany model tarcia uwzględniający nacisk oraz wilgotność materiału cechuje się dużą wiernością dopasowania do wyników pomiarów ($R^2 = 0,91-0,98$)

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, miskant olbrzymi, model liniowy

Wstęp

Unia Europejska zakłada ciągle powiększanie udziału energii pozyskanej z biopaliw w ogólnym bilansie energii. Także Polska zobowiązana jest do przestrzegania tych założeń. W warunkach naszego kraju najbardziej obiecującym źródłem energii odnawialnej wydaje się być biomasa. Koniecznym stanie się więc zakładanie plantacji wysokowydajnych roślin, określanych mianem energetycznych [Roszkowski 2001]. Do roślin tych należy miskant olbrzymi. Gatunek ten zaliczany jest do rodziny traw, pochodzi z Azji Wschodniej, charakteryzuje go fotosynteza typu C_4 , co predysponuje go do wytwarzania dużej ilości biomasy oraz do efektywnego wykorzystania wody [Frühwirth 2006]. W Polsce miskant pojawił się stosunkowo niedawno, jednak jego cechy sprawiają, że zainteresowanie uprawą tej rośliny sukcesywnie wzrasta.

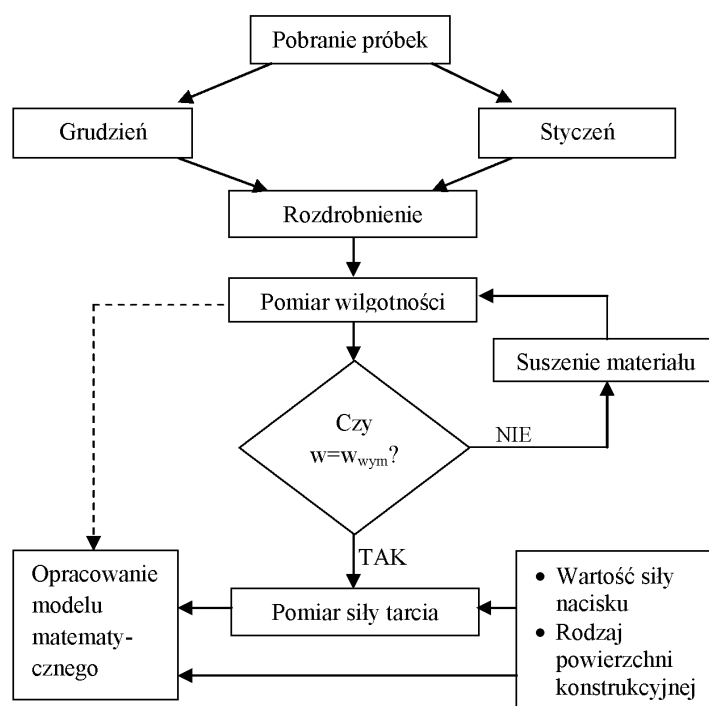
Ciągły wzrost powierzchni uprawy miskanta olbrzymiego sprawia, że koniecznym stanie się m. in. opracowywanie odpowiednich technologii oraz maszyn i urządzeń do zbioru i przetwarzania pędów tej rośliny. Niezbędna jest wówczas wiedza na temat sił tarcia towarzyszących tym procesom. Tarcie określane jest zwykle jako zespół zjawisk występujących na obszarze styku dwóch ciał, przemieszczających się względem siebie. Bliższe poznanie tego zjawiska dla materiałów roślinnych jest drogą do optymalizacji procesów technologicznych stosowanych w rolnictwie, obniżenia strat i oszczędności energii [Ślipek i in. 1999].

Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu wybranych czynników na wartość współczynnika tarcia zewnętrznego rozdrobnionych pędów miskanta olbrzymiego. Do czynników tych zaliczono wilgotność oraz rodzaj materiału konstrukcyjnego.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono według schematu przedstawionego na rys. 1. Materiał pobrano z dwuletniej plantacji miskanta olbrzymiego w dwóch terminach: późną jesienią (po zakończeniu wegetacji przez rośliny) oraz w okresie zimowego spoczynku. Uzyskano w ten sposób próby o różnych wilgotnościach. Zebrane wiązki pędów rozdrobiono na sieczkarni toporowej. Część uzyskanej sieczeni posłużyła do badań, pozostały materiał zasypano do ażurowych koszy i przechowywano w ciepłym i suchym pomieszczeniu celem obniżenia wilgotności.



Rys. 1. Schemat doświadczenia
Fig. 1. Experiment scheme

Przed przystąpieniem do pomiaru siły tarcia zewnętrznego określano wilgotność materiału. Oznaczenia dokonywano metodą suszarkowo-wagową wg normy PN-53/R74006.

Pomiar siły tarcia przeprowadzono według metodyki opracowanej przez Frączka [1999] przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej MTS z głowicą pomiarową 2000 N.

Pomiary wykonano przy prędkości przemieszczania wynoszącej $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, dla sześciu różnych wilgotności (0,09; 0,13; 0,24; 0,29; 0,34; 0,40 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$), dla sześciu sił nacisku (7,3; 17,1; 26,9; 36,7; 46,5 oraz 56,3 N) oraz dla trzech różnych materiałów konstrukcyjnych: drewna, plastiku i stali. Zmiana wartości siły tarcia rejestrowana była z częstotliwością 100 Hz, a program komputerowy TestWork 4 współpracujący z maszyną wytrzymałościową tworzył wykres zależności tej siły od przemieszczenia. Maksymalna siła zarejestrowana podczas próby jest siłą tarcia statycznego, natomiast średnia siła na odcinku pomiarowym to siła tarcia kinetycznego.

Wyniki pomiarów

Analiza uzyskanych wyników badań wykazała statystyczną istotność wpływu (dla $p=0,05$) wszystkich badanych czynników na wartość siły tarcia statycznego oraz kinetycznego. Stwierdzono, iż w przypadku tarcia statycznego dla badanych powierzchni kontaktu, przy określonym poziomie wilgotności, najlepsze dopasowanie modelu tarcia (R^2 w przedziale 0,980–0,999) do wyników pomiarów można uzyskać dla wzoru Coulomba:

$$T_s = \mu_s N + C \quad (1)$$

gdzie:

- T_s – siła tarcia statycznego [N],
- N – siła nacisku [N],
- μ_s – współczynnik tarcia statycznego [-],
- C – siła kohezji [N].

Obliczony ze wzoru (1) współczynnik tarcia [tab.1] rośnie wraz ze wzrostem wilgotności. Zmiany te można opisać funkcją kwadratową postaci [rys. 2]:

$$\mu_s = a \cdot w^2 + c \quad (2)$$

gdzie:

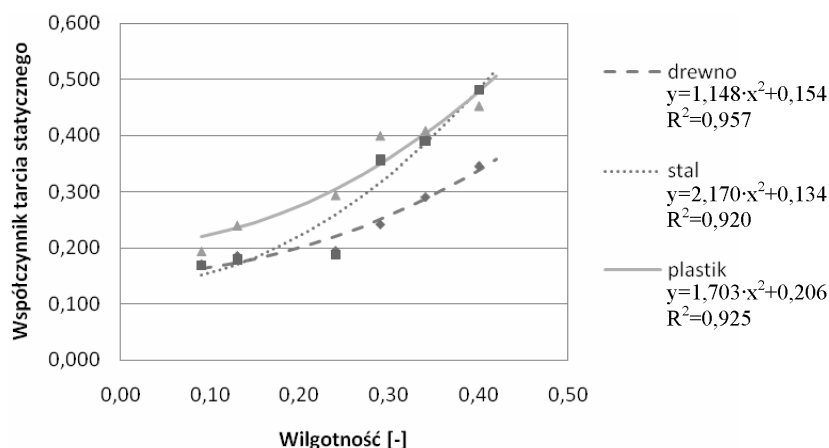
- μ_s – współczynnik tarcia statycznego [-],
- w – wilgotność [-],
- a, c – stałe.

Przebieg zmian współczynnika tarcia statycznego na skutek zmian wilgotności dla drewna i plastiku jest podobny, natomiast dla stali wraz ze wzrostem wilgotności siewki następuje szybszy przyrost współczynnika μ_s .

Tabela 1. Wyniki estymacji liniowej
Table 1. Linear estimation results

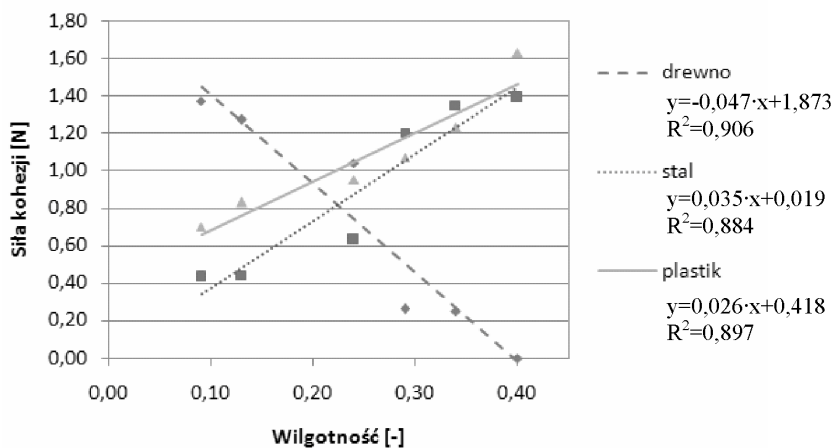
w [-]	Rodzaj tarcia	Stal			Drewno			Plastik		
		μ	C	R ²	μ	C	R ²	μ	C	R ²
0,09	statyczne	0.169	0.43	0.993	0.171	1.37	0.991	0.194	0.70	0.988
	kinetyczne	0.158	-	0.992	0.172	-	0.986	0.173	-	0.977
0,13	statyczne	0.179	0.44	0.997	0.186	1.27	0.997	0.204	0.83	0.990
	kinetyczne	0.170	-	0.997	0.185	-	0.990	0.288	-	0.996
0,24	statyczne	0.188	0.63	0.998	0.195	1.04	0.991	0.294	0.95	0.999
	kinetyczne	0.176	-	0.996	0.199	-	0.985	0.267	-	0.988
0,29	statyczne	0.356	1.2	0.987	0.242	0.26	0.997	0.399	1.07	0.994
	kinetyczne	0.360	-	0.980	0.249	-	0.996	0.391	-	0.998
0,34	statyczne	0.389	1.35	0.997	0.291	0.25	0.990	0.408	1.23	0.996
	kinetyczne	0.372	-	0.994	0.278	-	0.994	0.424	-	0.992
0,40	statyczne	0.480	1.39	0.980	0.346	0.00	0.993	0.452	1.63	0.998
	kinetyczne	0.472	-	0.989	0.305	-	0.993	0.485	-	0.991

Źródło: obliczenia własne autorów



Rys. 2. Zależność współczynnika tarcia statycznego od wilgotności
Fig. 2. Relationship between static friction coefficient and humidity

Stwierdzono również, że siła kohezji dla stali i plastiku wzrasta liniowo wraz ze wzrostem wilgotności. Natomiast dla powierzchni drewnianej siła oddziaływań międzycząsteczkowych maleje liniowo wraz ze wzrostem wilgotności [rys. 3]. Źródłem tego faktu można się doszukiwać w komórkowej budowie materiału. Zwiększenie zawartości wody w komórkach, a raczej w przestrzeniach międzykomórkowych, powoduje zmniejszenie sił kohezji i sprzyja powstawaniu powierzchni poślizgu.



Rys. 3. Zależność siły kohezji od wilgotności.
 Fig. 3. Relationship between cohesion force and humidity

Mając na uwadze fakt, że współczynnik tarcia statycznego jest nieliniową funkcją wilgotności, natomiast kohezja zmienia się liniowo, do opisu zmian sił tarcia statycznego zaproponowano następującą funkcję:

$$T_s = (a + b \cdot w^2) \cdot N + c \cdot w + d \tag{3}$$

gdzie:

a, b, c, d – stałe modelu.

Oceny parametrów modelu oraz współczynniki determinacji zestawiono w tabeli 2. Zaproponowany model cechuje się dużą wiernością dopasowania do wyników pomiarów, może więc z powodzeniem służyć do prognozowania zmian siły tarcia statycznego.

Tabela 2. Wyniki estymacji nieliniowej parametrów modelu tarcia statycznego
 Table 2. Results of non-linear estimation of static friction model parameters

Materiał	Parametr				R ²
	a	b	c	d	
Drewno	0,169	0,809	1,458	1,873	0,991
Stal	0,187	0,732	11,840	0,019	0,911
Plastik	0,238	0,681	9,300	0,418	0,957

Źródło: obliczenia własne autorów

Przeprowadzone estymacje wykazały, iż dla tarcia kinetycznego najlepsze dopasowanie do wyników pomiarów uzyskuje model Amontonsa (R² w przedziale 0,977–0,998) [tab. 1]:

$$T_k = \mu_k N \tag{4}$$

gdzie:

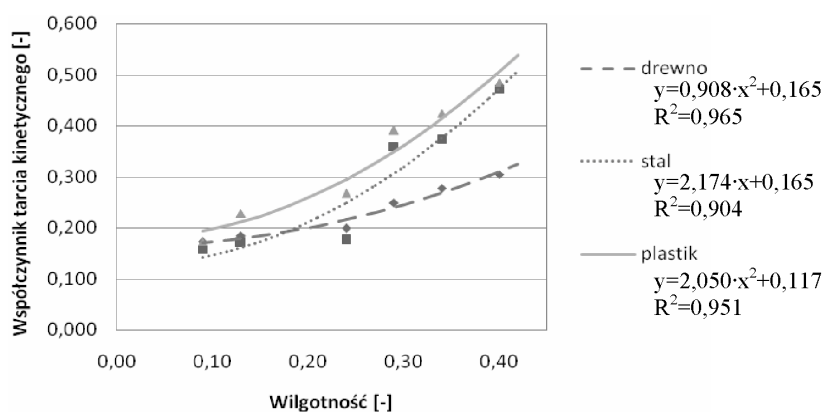
- T_k – siła tarcia kinetycznego [N],
 μ_k – współczynnik tarcia kinetycznego [-].

Podobnie jak w przypadku tarcia statycznego, współczynnik tarcia kinetycznego rośnie w kwadracie wilgotności [rys.4]. Dla drewna przyrost ten jest znacznie wolniejszy niż dla stali i plastiku. Mając na uwadze powyższy fakt, zaproponowano następujący model uwzględniający siłę nacisku oraz wilgotność:

$$T_k = (a + b \cdot w^2) \cdot N \quad (5)$$

gdzie:

- a, b – stałe modelu.



Rys. 5. Zależność współczynnika tarcia kinetycznego od wilgotności
 Fig. 5. Relationship between kinetic friction and humidity

Uzyskano bardzo wysokie (jak dla materiałów roślinnych) wartości współczynników determinacji [tab. 3]. Świadczy to o wiernym dopasowaniu opracowanego modelu do wyników badań.

Tabela 3. Wyniki estymacji nieliniowej parametrów modelu tarcia kinetycznego
 Table 3. Results of non-linear estimation of kinetic friction model parameters

Materiał	Parametr		R^2
	a	b	
Drewno	0,172	0,802	0,996
Stal	0,220	0,836	0,894
Plastik	0,267	0,781	0,913

Źródło: obliczenia własne autorów

Zaproponowane modele matematyczne mogą służyć do prognozowania zmian siły tarcia siewki miskanta o stal, drewno i plastik w zakresie wilgotności od 0,09 do 0,40.

Wnioski

1. Stwierdzono, iż w przypadku badanego materiału, do opisu tarcia statycznego można zastosować model Coulomba, a do tarcia kinetycznego model Amontonsa.
2. Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że współczynniki tarcia statycznego oraz kinetycznego rosną w kwadracie wilgotności.
3. Stwierdzono, że dla stali i plastiku siła kohezji wraz ze wzrostem wilgotności wzrasta liniowo, natomiast dla drewna liniowo maleje.
4. Zaproponowane modele nieliniowe, uwzględniające siłę nacisku oraz wilgotność materiału, cechują się dużą wiernością dopasowania (minimalne R^2 wynosi 0,894), mogą zatem z powodzeniem służyć do prognozowania zmian badanych sił tarcia w zakresie wilgotności 0,09 do 0,40.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008 – 2010 jako projekt badawczy nr N N313 153935

Bibliografia

- Frączek J.** 1999. Tarcie ziarnistych materiałów roślinnych. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie. z.252.
- Frühwirth P., Graf A., Humer M., Hunger F.** 2006. Miscanthus sinensis ‚Giganteus‘ Chinaschilf als nachwachsender Rohstoff. Wien.
- Roszkowski A.** 2001. Płynne paliwa roślinne – mrzonki rolników czy ogólna niemożność? Wieś Jutra 9. s. 22-26.
- Ślipek Z., Kaczorowski J., Frączek J.** 1999. Analiza teoretyczno – doświadczalna tarcia materiałów roślinnych. Kraków. s. 13-14.
- PN-81/G-04513 Paliwa stałe – Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.

THE IMPACT OF SELECTED FACTORS ON FRICTION COEFFICIENT VALUES FOR SHREDDED *MISCANTHUS GIGANTEUS* SPROUTS

Abstract. The paper presents results of the research on kinetic and static friction of shredded *Miscanthus giganteus* sprouts. The following factors were taken into account as elements stimulating the progress of this effect: humidity of sprouts, pressure force and constructional material type. The research allowed to observe the significance of humidity impact on the values of friction coefficients computed according to the Coulomb model for static friction and Amontons model for kinetic friction. The proposed friction model taking into account pressure and material humidity is characterised by high accuracy of the adjustment to measurement results ($R^2 = 0.91-0.98$).

Key words: friction coefficient, *Miscanthus giganteus*, linear model

Adres do korespondencji:

Jarosław Frączek; e-mail: Jaroslaw.Fraczek@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków