

PRÓBA OKREŚLENIA ZALEŻNOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA  
OD TWARDOŚCI I WILGOTNOŚCI ZIARNA KUKURYDZY

Jacek Frontczak, Tadeusz Metzger  
Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR we Wrocławiu

WSTĘP

Wartości współczynników tarcia materiałów ziarnistych pochodzenia roślinnego uwarunkowane są wieloma różnorodnymi i zmiennymi czynnikami często ze sobą powiązanymi. Do czynników takich można w pierwszym rzędzie zaliczyć wilgotność, a poza tym: temperaturę, prędkość ruchu względnego, wielkość nacisków, czas wzajemnego oddziaływania, twardość, wytrzymałość okrywy owocowo-nasiennej, kształt ziarna itp.

Wpływ poszczególnych czynników na wartość współczynników tarcia zewnętrznego i wewnętrznego badali m.in. Haman i Grochowicz [6]. Określali oni współczynnik tarcia wewnętrznego dla ziarna pszenicy w warunkach zwiększonych naprężeń. Gruszczynski, Mikołajuk i Niedziółka [5] dla kłębków buraczanych wyznaczali zależność współczynnika tarcia wewnętrznego od wilgotności i wielkości frakcji, a współczynnika tarcia zewnętrznego - od wilgotności, wielkości frakcji i rodzaju podłoża. Wpływ czasu pomiaru, wielkości nacisków, wilgotności i prędkości ruchu względnego na współczynnik tarcia zewnętrznego ziarna pszenicy badali Grochowicz, Grundas i Molenda [4]. Stwierdzili oni konieczność uwzględniania w badaniach wszystkich powyższych czynników w celu uzyskania porównywalności wyników.

W dotychczas prowadzonych badaniach poszczególne czynniki, mające wpływ na współczynnik tarcia, traktowane były oddzielnie i niezależnie, natomiast w tym opracowaniu podjęto próbę skojarzenia

dwóch parametrów: współczynnika tarcia i mikrotwardości ziarna, przy uwzględnieniu ich zależności od wilgotności.

Pomiary mikrotwardości mogą być dokonywane przy wykorzystaniu różnych metod. I tak np. Byszewski i Kiełbaska mikrotwardość buraków cukrowych określali metodą Hopplera [1]. Próby określania mikrotwardości buraków cukrowych prowadzono także metodą Brinella [7]. W odniesieniu do materiałów ziarnistych znane są wyniki badań mikrotwardości ziarna pszenicy prowadzone przez Gąsiorowskiego i Poliszkę, przy zastosowaniu metody Vickersa [3]. Metodę Vickersa wykorzystał również autor [2] do badań mikrotwardości okrywy owocowo-nasiennej ziarna 6 mieszańców kukurydzy przy różnych wilgotnościach.

### PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

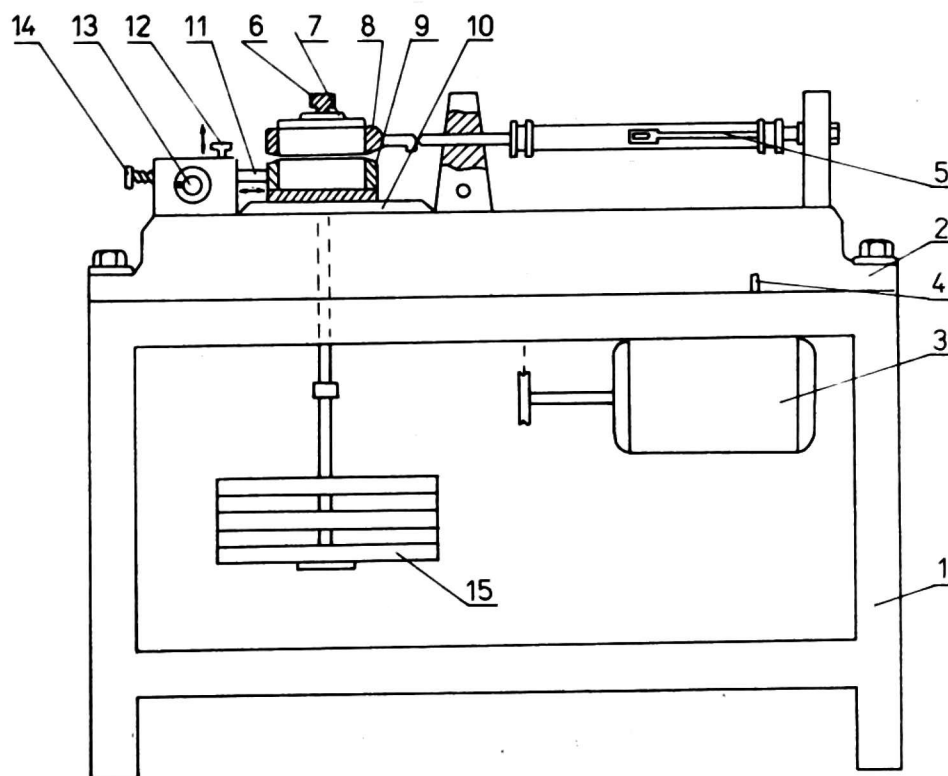
Do badań użyte zostało ziarno czterech mieszańców kukurydzy, oznaczonych jako: LG-3 - mieszaniec wczesny produkcji francuskiej, Kb-183 - mieszaniec eksperymentalny produkcji polskiej, Kb-268 - mieszaniec średnio wczesny produkcji polskiej, Kb-270 - mieszaniec średnio wczesny produkcji polskiej.

Ziarno wszystkich tych mieszańców zostało zebrane z plantacji Wieloobiektowej Stacji Hodowli Roślin w Kobierzycach, gdzie poddano je obróbce suszenia, czyszczenia i sortowania przewidzianej dla materiału siewnego. Ziarno było dorodne i bez uszkodzeń, a masa ziarna nie zawierała zanieczyszczeń.

Do pomiaru współczynników tarcia wewnętrznego wykorzystano adaptowany aparat bezpośredniego ścinania, stosowany w mechanice gruntów (rys. 1). W skład urządzenia wchodzi: rama (1), korpus (2), silnik elektryczny (3), wyłącznik (4), pierścień oporowy z naklejonymi tensometrami (5), wieszak (6), przycisk (7), górna (8) i dolna (9) skrzynka komory prób, prowadnice (10), śruba dociskowa (11, 14), zapadka (12), koło pokrętne przekładni (13) i obciążniki (15).

Próbkę ziarna umieszczoną w komorze prób poddano działaniu dwóch sił: normalnej i ścinającej. Siłę normalną uzyskiwano obciążając wieszak obciążnikami, natomiast siłę ścinającą wywoływano za poś-

rednictwem śruby dociskowej przyłożonej do dolnej skrzynki. Wielkość siły przeniesionej na górną skrzynkę rejestrowano, aż do momentu ścięcia próbki ziarna. Do tego celu wykorzystano pierścień oporowy z naklejonymi tensometrami, którego odkształcenia, poprzez mostek tensometryczny TDA-6, rejestrowano na taśmie rejestratora TZ-21S wyskalowanego bezpośrednio w jednostkach siły.



Rys.1. Schemat aparatu bezpośredniego ścinania

Znajomość wartości sił normalnej i ścinającej pozwala na określenie współczynników tarcia wewnętrznego ze znanej zależności:

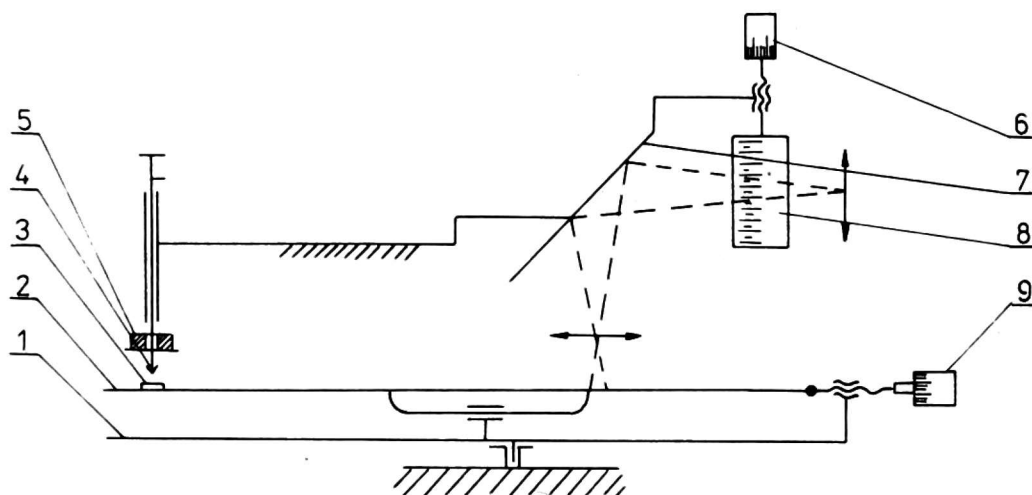
$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + C, \quad (1)$$

gdzie:

- $\tau$  - naprężenie ścinające,
- $\sigma_n$  - naprężenie normalne,
- $C$  - spójność,
- $\rho$  - kąt tarcia wewnętrznego.

Badania prowadzono przy trzech wartościach normalnej siły obciążającej: 370, 550 i 730 N, stosując po trzy powtórzenia dla każdej z nich.

Badania współczynników tarcia zewnętrznego przeprowadzono na równi pochyłej z regulowanym kątem pochylenia oraz możliwością wymiany podłoża. Stosowano podłoża z blachy stalowej walcowanej, drewna sosnowego szlifowanego i gumy transporterowej, wykonując po pięć powtórzeń pomiaru dla każdego z nich.



Rys. 2. Schemat mikrotwardościomierza PMT-3

1 - podstawa, 2 - stolik, 3 - badany przedmiot, 4 - wgłębnik, 5 - obciążnik, 6 - śruba mikrometru okularu, 7 - pryzmat, 8 - okular, 9 - śruba mikrometryczna stolika

Mikrotwardość okrywy owocowo-nasiennej określano za pomocą mikrotwardościomierza PMT-3 (rys. 2). Badane ziarno umieszczono, ustalając jego położenie za pomocą masy przyklepnej, na stoliku (2) pod obiektywem. Po ustawieniu ostrości i wyborze miejsca pomiaru stolik obracano o  $180^{\circ}$ , tak że miejsce pomiarowe znajdowało się pod wgłębnikiem (4). Obrót dźwigni mechanizmu obciążającego powodował wnikiwanie wgłębnika w próbkę. Po odciążeniu następował powrót stolika w położenie wyjściowe, gdzie wykorzystując okular mikrometryczny odczytywano przekątne  $d_1$  i  $d_2$  uzyskanego odcisku.

Przy wyborze miejsca pomiaru zwracano uwagę, aby było ono płaskie i znajdowało się co najmniej w odległości równej 1,5 długości przekątnej odcisku od krawędzi próbki i 2 długości przekątnej od krawędzi sąsiedniego odcisku. Liczbową wielkość mikrotwardości według Vickersa obliczono ze wzoru:

$$H_V = \frac{F}{S} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}), \quad (2)$$

gdzie:  $F$  - siła obciążająca wgłębnik, N,  
 $S$  - powierzchnia poboczniczy odcisku,  $\text{mm}^2$ .

Wzór ten dla twardości Vickersa (ostrosłup o kącie wierzchołkowym  $136^\circ$ ) przyjmuje postać:

$$H_V = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad (3)$$

gdzie:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

Mikrotwardość okrywy owocowo-nasiennej ziarna kukurydzy określano na stu losowo wybranych ziarnach każdego mieszańca wykonując po 3 odciski na każdym z nich.

Empirycznie dobrana wartość siły obciążającej wynosiła 0,0098 N.

Wszystkie pomiary zarówno współczynników tarcia, jak i mikrotwardości dokonywane były w temperaturze otoczenia wynoszącej  $21^\circ\text{C}$  ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

Pomiary: wykonywano dla 10 różnych poziomów wilgotności ziarna w następujących zakresach:

LG-3 12,3-26,8%

Kb-183 11,2-27,4%

Kb-268 10,4-26,1%

Kb-270 12,1-27,3%

W celu uzyskania żądanej wilgotności ziarno nawilżano w specjalnie do tego celu wykonanej mieszarce. Wilgotność ziarna oznaczano metodą suszarkową w temperaturze  $105^\circ\text{C}$ .

#### WYNIKI BADAŃ

Wartości graniczne współczynników tarcia i mikrotwardości ziarna kukurydzy w badanym przedziale wilgotności zestawiono w tabeli 1. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów wyznaczono równania regresji i obliczono współczynniki korelacji mikrotwardości i współczynników tarcia względem wilgotności. Współczynniki te są bliskie jedności i w przypadku mikrotwardości wynoszą od -0,93 dla mieszańca LG-3 do -0,98 dla mieszańców Kb-268 i Kb-270, a w przypadku współczynników tarcia - od 0,78 dla mieszańca Kb-268 przy tarciu o podłoże z drewna do 0,98 dla mieszańców LG-3 i Kb-270 przy tarciu o blachę stalową.

Zakresy zmienności współczynników  
oraz równania regresji i współczyn-

	Mie-	
	LG-3	Kb-183
	12,3-26,8	11,2-27,4
Współczynnik tarcia zewnętrznego o stal	0,310-0,545	0,298-0,577
Równanie prostych regresji	$\mu = 0,0182W + 0,0464$	$\mu = 0,0173W + 0,0748$
Współczynnik korelacji	$r = 0,98$	$r = 0,95$
Współczynnik tarcia zewnętrznego o drewno	$\mu = 0,251 - 0,433$	$\mu = 0,253 - 0,516$
Równanie prostych regresji	$0,0120W + 0,0875$	$0,0142W + 0,0584$
Współczynnik korelacji	$r = 0,87$	$0,84$
Współczynnik tarcia zewnętrznego o gumę	$0,323 - 0,557$	$0,311 - 0,587$
Równanie prostych regresji	$\mu = 0,0180W + 0,0595$	$\mu = 0,0178W + 0,0773$
Współczynnik korelacji	$r = 0,96$	$r = 0,95$
Współczynnik tarcia wewnętrznego ( $u_w$ )	$0,571 - 0,971$	$0,621 - 0,970$
Równania prostych regresji	$\mu_w = 0,03511W + 0,0929$	$\mu_w = 0,0186W + 0,4467$
Współczynnik korelacji	$r = 0,95$	$r = 0,86$
Mikrotwardość ( $H_v$ )	$1,0359-0,1256$	$1,3842-0,1221$
Równania krzywych regresji	$H_v = 6,202 e^{-0,1455W}$	$H_v = 7,419 e^{-0,1499W}$
Współczynnik korelacji	$r = -0,93$	$r = -0,95$

T a b e l a 1

tarcia i mikrotwardości ziarna kukurydzy  
 niki korelacji względem wilgotności

szanice	
Kb-268	Kb-270
wilgotność, %	
10,4-26,1	12,1-27,3
0,274-0,547	0,287-0,610
$\mu = 0,0156W + 0,1009$	$\mu = 0,0213W + 0,0143$
$r = 0,96$	$r = 0,98$
$\mu = 0,253 - 0,501$	$\mu = 0,251 - 0,527$
$0,0135W + 0,0498$	$0,0159W + 0,0046$
0,78	0,82
0,300-0,591	0,311-0,606
$\mu = 0,0193W + 0,0590$	$\mu = 0,0198W + 0,0331$
$r = 0,97$	$r = 0,96$
0,572-0,980	0,613-0,980
$\mu_w = 0,0222W + 0,4378$	$\mu_w = 0,0237W + 0,3638$
$r = 0,86$	$r = 0,87$
1,3483-0,1238	1,2893-0,1003
$H_v = 6,558 e^{-0,1521W}$	$H_v = 9,844 e^{-0,1680W}$
$r = -0,98$	$r = -0,98$



Zależność współczynników tarcia zewnętrznego i wewnętrznego od wilgotności jest prostoliniowa i określona równaniem typu:

$$\mu = c W + k, \quad (4)$$

natomiast zależność mikrotwardości ziarna od wilgotności przedstawia funkcja wykładnicza:

$$H_V = a e^{bW}. \quad (5)$$

Rugując z równań (4) i (5) parametr wilgotności  $W$  otrzymujemy:

$$\mu = \frac{c \ln H_V}{b} - \frac{c \ln a}{b} + k \quad (6)$$

a podstawiając:

$$m = \frac{c}{b} \text{ oraz } n = \frac{c \ln a}{b} + k$$

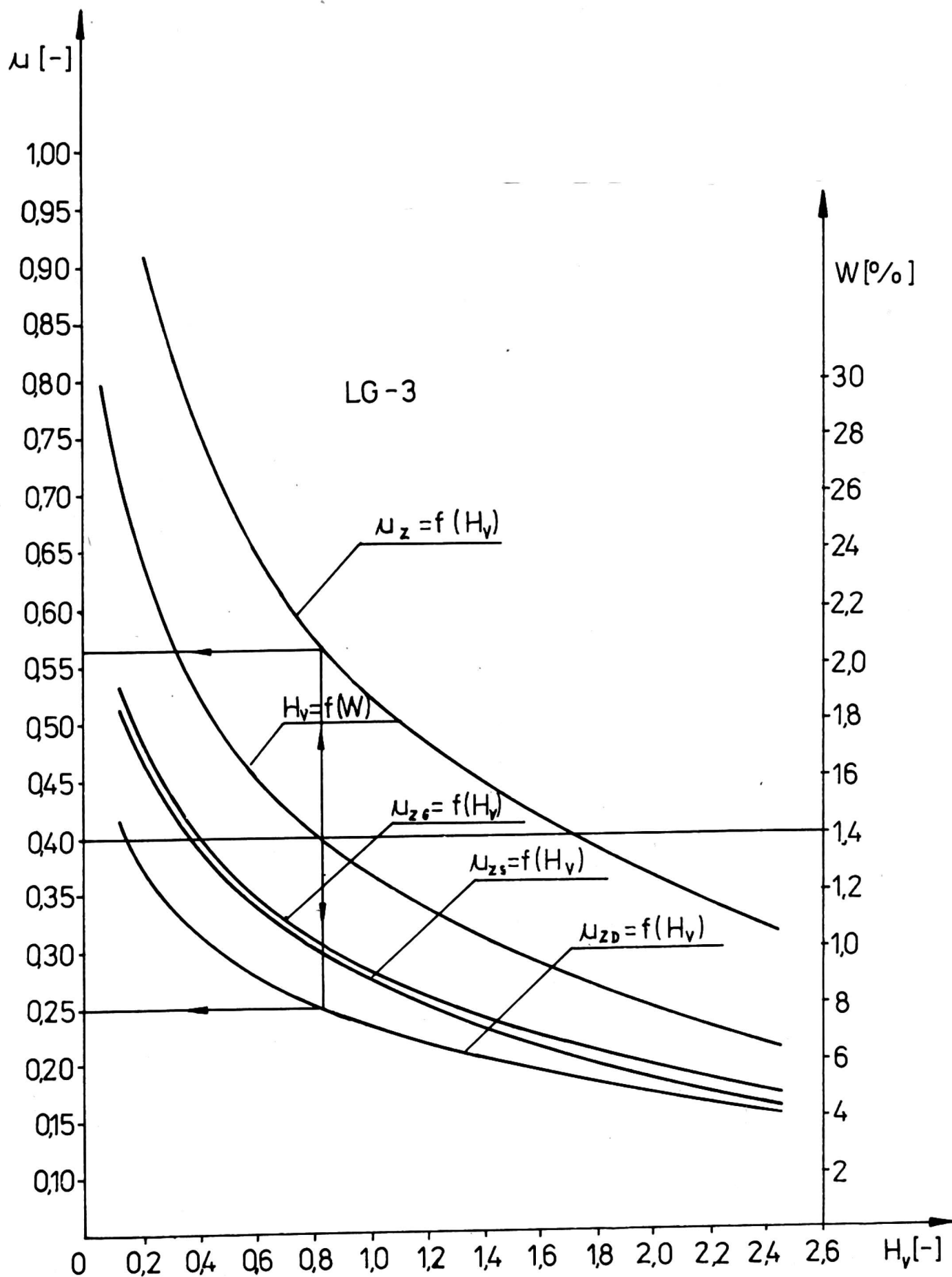
uzyskujemy równanie:

$$\mu = m \ln H_V + n \quad (6^1)$$

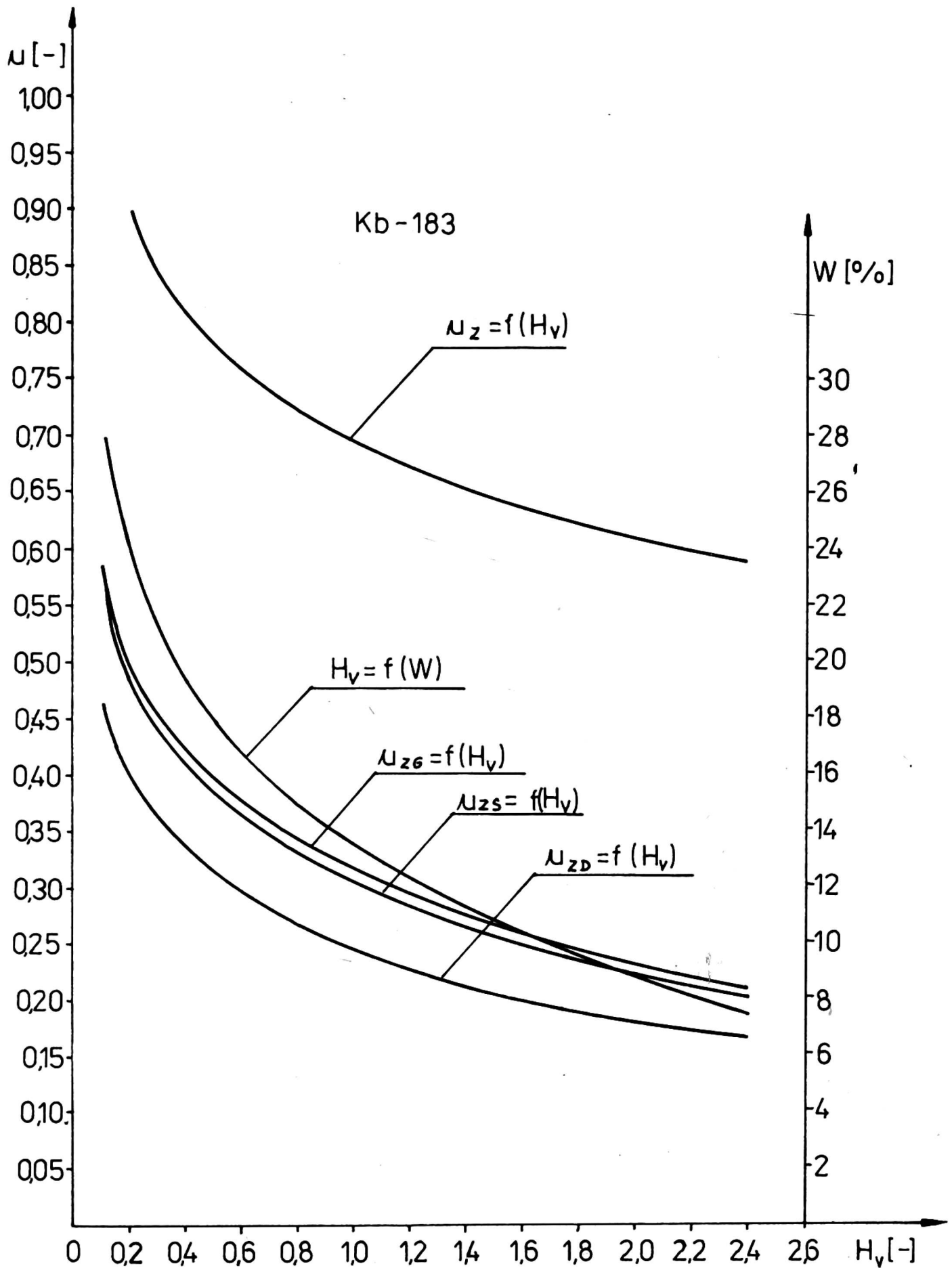
Równanie (6<sup>1</sup>) przedstawia zależność współczynnika tarcia od mikrotwardości Vickersa okrywy owocowo-nasiennej ziarna kukurydzy. Zależność ta jest logarytmiczna, a jej graficzna postać dla ziarna poszczególnych mieszańców została pokazana na rysunkach 3-6. Na rysunkach tych naniesiono również wykresy zależności mikrotwardości od wilgotności dla każdego z mieszańców, dzięki czemu uzyskano nomogram pozwalający na określenie, przy zadanej wilgotności, każdego ze współczynników tarcia na podstawie znajomości mikrotwardości ziarna. W tym celu należy wykreślić, równoległe do osi odciętych, linię prostą od osi wilgotności, na żądanym poziomie, do punktu przecięcia z wykresem funkcji  $H_V = f(W)$ : następnie z tego punktu, równoległe do osi rzędnych, linię prostą do przecięcia z wykresem funkcji wybranego współczynnika tarcia od mikrotwardości  $\mu = f(H_V)$ , a stąd linię poziomą do przecięcia z osią, na której naniesiono wartości współczynników tarcia  $\mu$ .

Z przedstawionych wykresów można również bezpośrednio odczytać zależności współczynników tarcia od mikrotwardości oraz mikrotwardości od wilgotności ziarna.

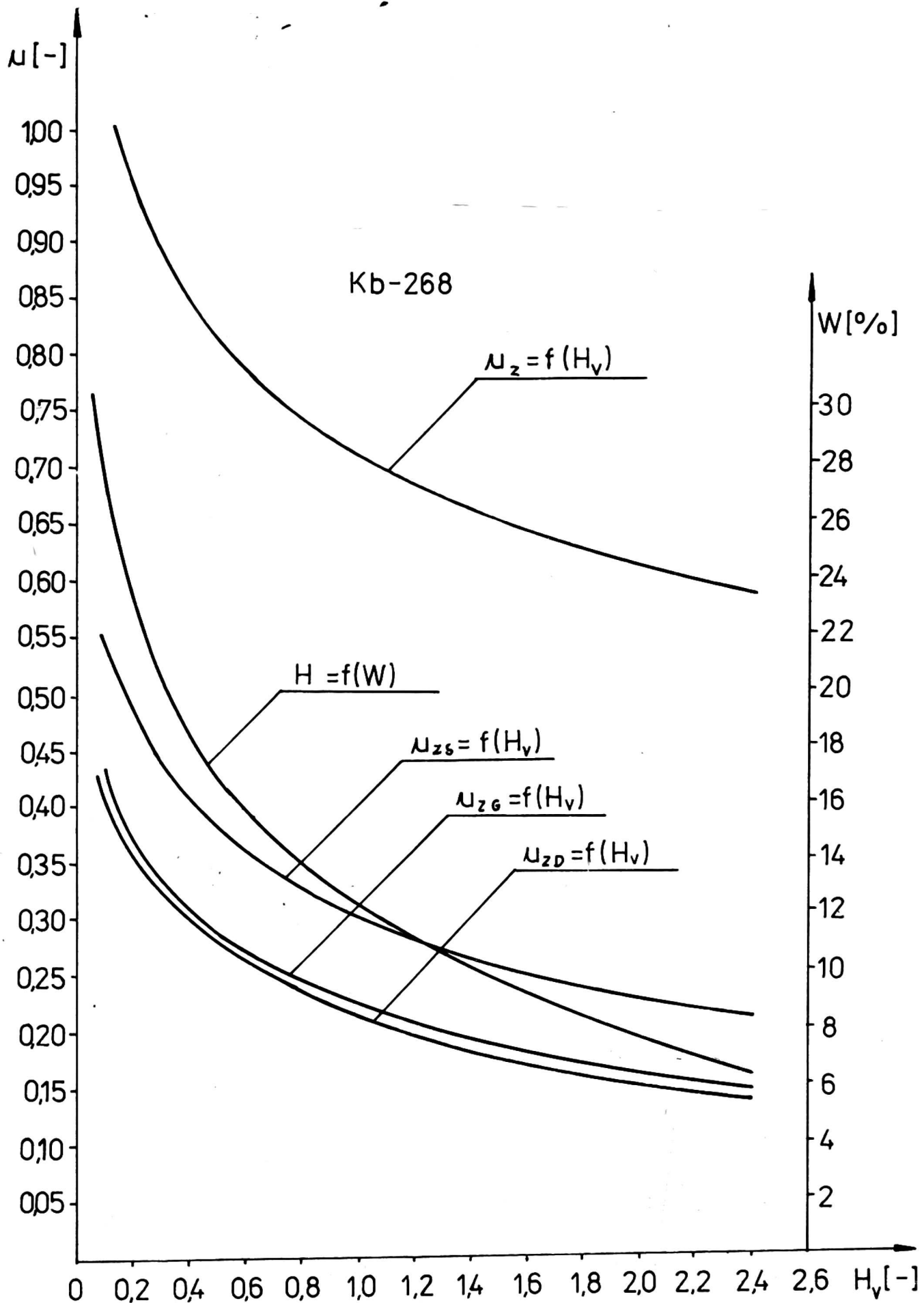




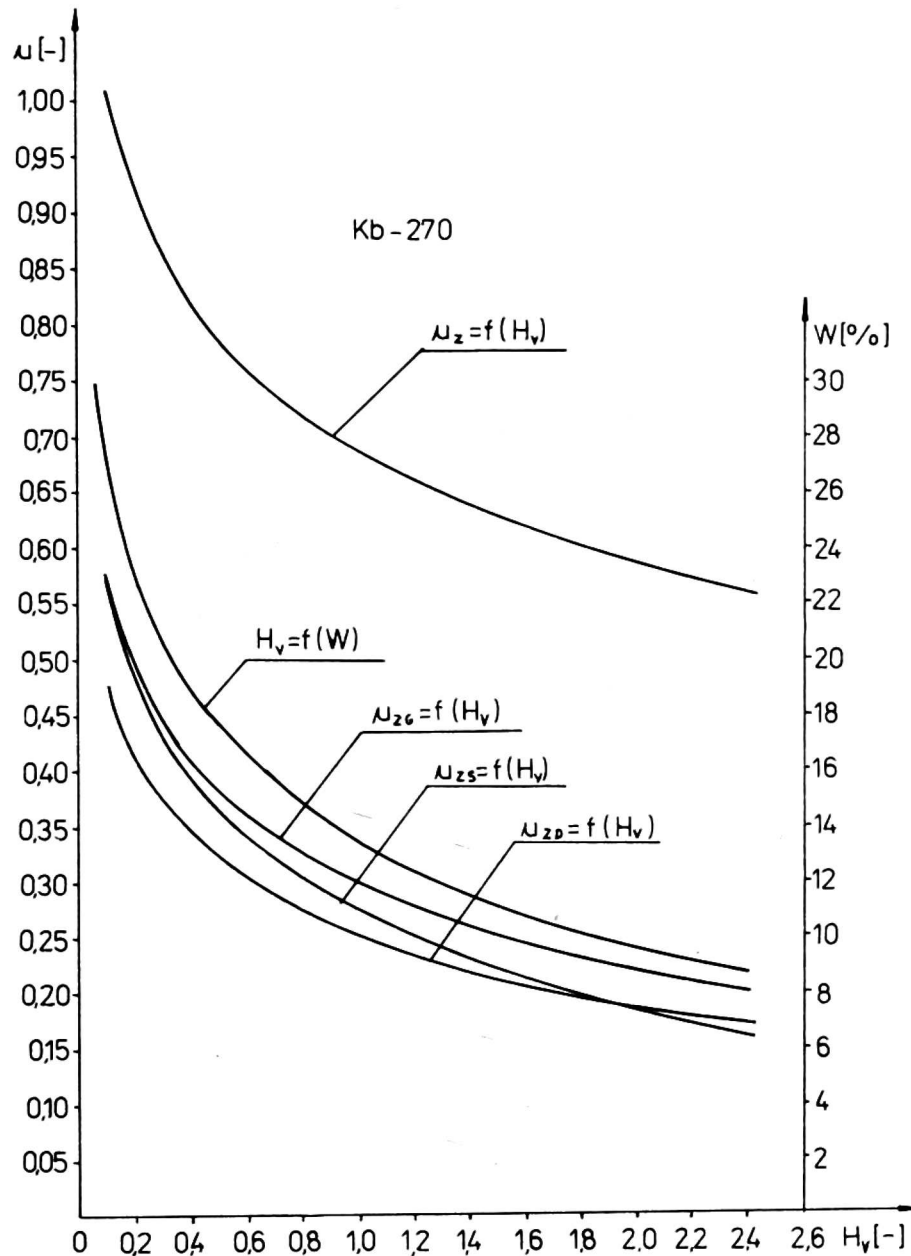
Rys.3. Nomogram zależności współczynników tarcia i mikrotwardości od wilgotności dla mieszańca LG-3



Rys.4. Nomogram zależności współczynników tarcia i mikrotwardości od wilgotności dla mieszańca Kb-183



Rys.5. Nomogram zależności współczynników tarcia i mikrotwardości od wilgotności dla mieszańca Kb-268



Rys.6. Nomogram zależności współczynników tarcia i mikrotwardości od wilgotności dla mieszańca Kb-270

### WNIOSKI

Analiza uzyskanych wyników badań pozwala na sformułowanie następujących stwierdzeń:

1. Pomędzy współczynnikami tarcia zewnętrznego i wewnętrznego ziarn badanych mieszańców kukurydzy a mikrotwardością ich okrywy owocowo-nasiennej istnieje zależność logarytmiczna określona wzorem  $\mu = m \ln H_v + n$ , natomiast zależność mikrotwardości od wilgotności wyraża się funkcją wykładniczą postaci  $H_v = ae^{bW}$ .

2. Przedstawione w pracy nomogramy pozwalają na określenie wartości współczynników tarcia na podstawie znajomości mikrotwardości okrywy owocowo-nasiennej i wilgotności ziarna dla czterech mieszańców kukurydzy, użytych do badań.

3. W celu uogólnienia uzyskanych zależności niezbędne jest prowadzenie dalszych badań, które uwzględniałyby większą ilość mieszańców kukurydzy, tak aby możliwe stało się sformułowanie ogólnego równania wiążącego współczynnik tarcia z mikrotwardością ziarna kukurydzy.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Byszewski W., Kiełbaska M.: Badanie właściwości fizycznych buraka cukrowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 135, 1972.
2. Frontczak J.: Zmienność cech reologicznych ziarna wybranych mieszańców kukurydzy. Praca doktorska. Wrocław 1983.
3. Gąsiorowski H., Poliszko S.: Uogólniony wskaźnik mikrotwardości bielma pszenicy. Przem. Zboż.-Młyn., nr 9, 1977.
4. Grochowicz M., Grundas S., Molenda M.: Advice for the investigation of the external friction of a grain medium. International Conference on Physical Properties of Agricultural Materials. Gödöllő. Hungary 1980.
5. Gruszczyński L., Mikołajuk K., Niedziółka J.: Badania współczynników tarcia wewnętrznego i zewnętrznego kłębków buraczanych. Roczn. Nauk Rol., ser. C, t. 74, z. 4, 1981..
6. Haman J., Grochowicz M.: Methodology of determination of the internal friction coefficient of grain layer at increased strains. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 203, 1978.
7. Szot B.: Rozwój badań własności fizycznych materiałów rolniczych. Probl. Agrofiz., z. 5, Ossolineum. Wrocław 1972.
8. PN-79/H-04 361.

Я. Фронтчак, Т. Метцгер

#### ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ОТ ТВЕРДОСТИ И ВЛАЖНОСТИ КУКУРУЗНОГО ЗЕРНА

#### Р е з ю м е

В статье представлено результаты предпринятой попытки сопряже-

ния влияния микротвердости и влажности кукурузного зерна на его коэффициенты трения: внешнего и внутреннего. Эти зависимости представлено в виде номограмм для 4 гибридов кукурузы, использованных для исследований. Коэффициенты корреляции коэффициентов трения относительно влажности располагаются в пределах от 0,78 до 0,98, а микротвердости от -0,93 до -0,98. Влияние микротвердости плодово-семенной оболочки на коэффициенты трения показывает логарифмическая функция в виде  $\mu = m \ln H_v + n$ , зависимость микротвердости от влажности функция  $H_v = ae^{bw}$ .

J. Frontczak, T. Metzger

AN ATTEMPT AT THE DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE  
FRICTION COEFFICIENT AND THE HARDNESS AND MOISTURE OF MAIZE  
GRAIN

S u m m a r y

The paper presents the results of an attempt to correlate micro-hardness and moisture content of maize grains with the external and internal friction coefficient. These relationships are presented in the form of nomograms for four maize hybrids used in the study. The correlation coefficients of the friction coefficients with moisture content are within 0.78 to 0.98, and those of micro-hardness with moisture content are from -0.93 to -0.98.

The effect of micro-hardness of the grain cover to the friction coefficient is described with a logarithmic function  $\mu = m \ln H_v + n$  and the relationship of micro-hardness to moisture content conforms the function  $H_v = ae^{bw}$ .