

BADANIA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA ZEWNĘTRZNEGO I KĄTA NATURALNEGO USYPU NASION ŁUBINU ODMIANY BAR I RADAMES

Bronisława Barbara Kram

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Wyznaczono współczynnik tarcia zewnętrznego μ oraz kąt naturalnego usypu α w funkcji wilgotności W dla odmian łubinu Bar i Radames na podłożach konstrukcyjnych (beton, szkło, guma, stal, drewno). Wilgotność wpływa znacząco na badane cechy nasion łubinu (wielkości te rosną prostoliniowo wraz ze wzrostem wilgotności). Zakres wielkości współczynnika tarcia zewnętrznego wynosi od $\mu_{sz} = 0,14$ do $\mu_{dn} = 0,66$, a kąta naturalnego usypu od $\alpha_{sz} = 7,29^\circ$ do $\alpha_{sz} = 31,62^\circ$. Zależność kąta naturalnego usypu od współczynnika tarcia zewnętrznego można opisać równaniami prostych rosnących.

Słowa kluczowe: łubin, współczynnik tarcia zewnętrznego, kąt naturalnego usypu, podłoże konstrukcyjne, beton, szkło, guma, stal, drewno

Wstęp

Uprawiane w Polsce gatunki łubinu pochodzą z okolic Morza Śródziemnego. W systematyce botanicznej łubin (*Lupinus*) jest rodzajem należącym do rodziny strączkowatych (*Leguminosae*) i podrodziny motylkowatych (*Papilionaceae*). Cechą szczególną łubinów jest ich symbioza z bakteriami korzeniowymi wiążącymi wolny azot atmosferyczny. Łubin, jako roślina wysokobiałkowa, stanowi alternatywne źródło białka paszowego w żywieniu zwierząt gospodarskich. Jego uprawa w pełni realizuje idee rolnictwa ekologicznego [Andrejko; Grochowicz 1999]. Pełne wykorzystanie nasion łubinów (białkowego tym samym zastąpienia nim soi) jako surowca białkowego w żywieniu ludzi i zwierząt jeszcze nie nastąpiło. Powierzchnia upraw nasiennych łubinu w Polsce wynosiła zaledwie 128 tys. ha, z czego 82% powierzchni zajmował łubin żółty, 14% wąskolistny a biały 4%.

Przygotowanie nasion łubinu do spożycia wiąże się z pewnymi trudnościami technologicznymi, których rozwiązanie zależy również od znajomości cech fizycznych tych nasion. Znajomość kąta naturalnego usypu i współczynnika tarcia zewnętrznego jest ważna i brana pod uwagę przy transporcie ziarna przemieszczanymi taśmami, projektowaniu miejsc magazynowych i miejsc technologicznego przerobu, a także projektowaniu specjalistycznych pojemników. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań wyznaczających współczynnik tarcia zewnętrznego i kąt naturalnego usypu na wybranych podłożach konstrukcyjnych dla dwóch odmian łubinu Bar i Radames w funkcji wilgotności ich nasion.

Cel, przedmiot i metodyka

Celem badań był wyznaczenie współczynnika tarcia zewnętrznego i kąta naturalnego usypu na podstawowych materiałach konstrukcyjnych (stal, drewno, guma, szkło, beton) nasion łubinu Bar i Radames w funkcji wilgotności nasion.

Do wyznaczenia współczynnika tarcia zewnętrznego μ zastosowano równię pochyłą o zmiennym kącie nachylenia β i wymiennych podłożach. Współczynnik tarcia zewnętrznego wyznaczano ze wzoru:

$$\mu = \operatorname{tg} \beta \quad [-] \quad (1)$$

gdzie:

- μ – współczynnik tarcia zewnętrznego
- β – mierzony kąt nachylenia równi

Kąt naturalnego usypu wyznaczano na urządzeniu własnej konstrukcji na tych samych podłożach. Kąt naturalnego usypu obliczano ze wzoru:

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} h \cdot r^{-1} \quad [^\circ] \quad (2)$$

gdzie:

- α – kąt naturalnego usypu
- h – mierzona wysokość usypanego stożka
- r – mierzony promień usypanego stożka

Nasiona łubinu były sztucznie nawilżane (odmiany Radames od $W=9,44\%$ do $W=56\%$, odmiany Bar od $W=7,33\%$ do $W=59,2\%$).

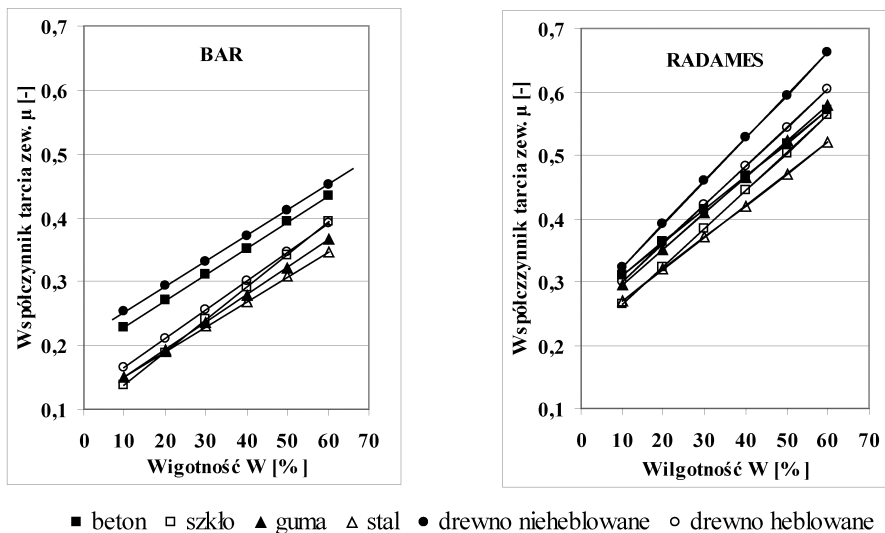
Wyniki badań

Na wszystkich badanych podłożach konstrukcyjnych współczynnik tarcia zewnętrznego jak i kąt naturalnego usypu rosną wraz ze wzrostem wilgotności nasion. Zależności te można opisać równaniami prostych (rys. 1 i 2).

Dla łubinu odmiany Bar:

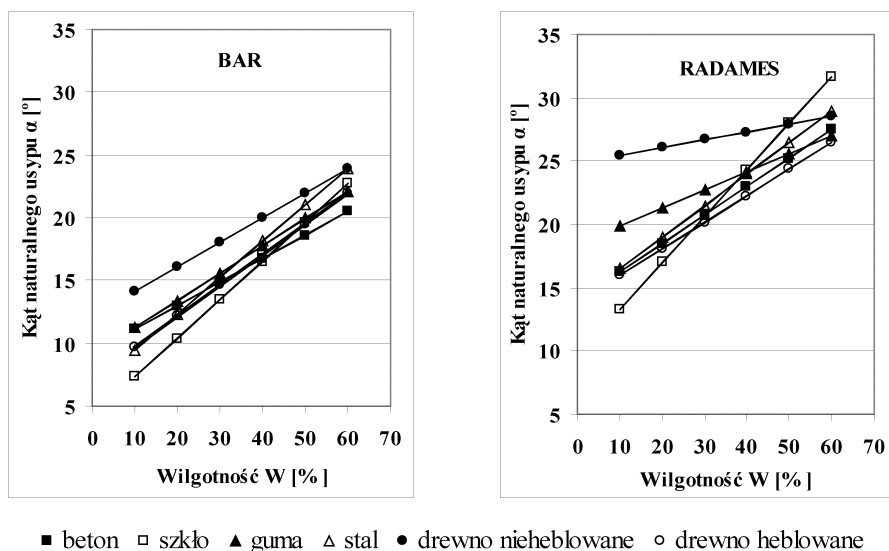
- współczynnik tarcia zewnętrznego μ w funkcji wilgotności W ;

na podłożu betonowym	$\mu_b = 0,0041 \cdot W + 0,1878$	$R^2 = 0,95$
na podłożu szklanym	$\mu_{sz} = 0,0051 \cdot W + 0,0871$	$R^2 = 0,88$
na podłożu gumowym	$\mu_g = 0,0043 \cdot W + 0,107$	$R^2 = 0,93$
na podłożu stalowym	$\mu_{st} = 0,0039 \cdot W + 0,1123$	$R^2 = 0,90$
na podłożu drewnianym;		
deska nieheblowana	$\mu_{dn} = 0,004 \cdot W + 0,2122$	$R^2 = 0,86$
deska heblowana	$\mu_{dh} = 0,0045 \cdot W + 0,1206$	$R^2 = 0,91$



Rys. 1. Wpływ wilgotności na współczynnik tarcia zewnętrznego na wybranych podłożach konstrukcyjnych badanych odmian łubinów Bar i Radames

Fig. 1. Effect of humidity on the external friction coefficient for the selected construction foundations and the investigated lupine cultivars Bar and Radames



Rys. 2. Wpływ wilgotności na kąt naturalnego usypu na wybranych podłożach konstrukcyjnych badanych odmian łubinów Bar i Radames

Fig. 1. Effect of humidity on the angle of natural repose for the selected construction foundations and the investigated lupine cultivars Bar and Radames

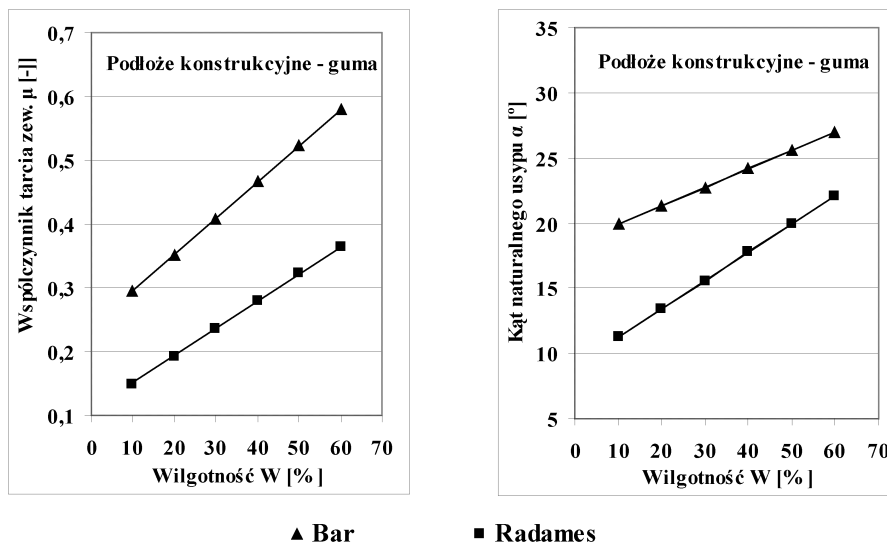
- kąt naturalnego usypu α w funkcji wilgotności W ;
- | | | |
|------------------------|---|--------------|
| na podłożu betonowym | $\alpha_b = 0,1871 \cdot W + 9,2491$ | $R^2 = 0,97$ |
| na podłożu szklanym | $\alpha_{sz} = 0,308 \cdot W + 4,2105$ | $R^2 = 0,94$ |
| na podłożu gumowym | $\alpha_g = 0,2176 \cdot W + 9,0551$ | $R^2 = 0,98$ |
| na podłożu stalowym | $\alpha_{st} = 0,2897 \cdot W + 6,5706$ | $R^2 = 0,99$ |
| na podłożu drewnianym; | | |
| deska nieheblowana | $\alpha_{dn} = 0,1961 \cdot W + 12,118$ | $R^2 = 0,99$ |
| deska heblowana | $\alpha_{dh} = 0,2442 \cdot W + 7,3033$ | $R^2 = 0,92$ |

Dla łubinu odmiany Radames:

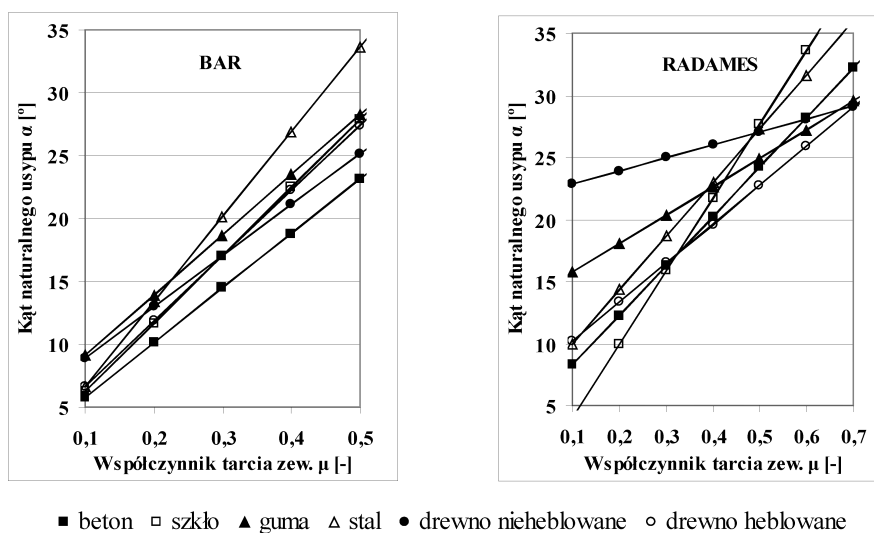
- współczynnik tarcia zewnętrznego μ w funkcji wilgotności W ;
- | | | |
|------------------------|--------------------------------------|--------------|
| na podłożu betonowym | $\mu_b = 0,0052 \cdot W + 0,2585$ | $R^2 = 0,93$ |
| na podłożu szklanym | $\mu_{sz} = 0,0060 \cdot W + 0,2037$ | $R^2 = 0,93$ |
| na podłożu gumowym | $\mu_g = 0,0057 \cdot W + 0,2375$ | $R^2 = 0,95$ |
| na podłożu stalowym | $\mu_{st} = 0,0050 \cdot W + 0,2197$ | $R^2 = 0,89$ |
| na podłożu drewnianym; | | |
| deska nieheblowana | $\mu_{dn} = 0,0068 \cdot W + 0,2547$ | $R^2 = 0,94$ |
| deska heblowana | $\mu_{dh} = 0,0061 \cdot W + 0,2379$ | $R^2 = 0,95$ |
- kąt naturalnego usypu α w funkcji wilgotności W ;
- | | | |
|------------------------|---|--------------|
| na podłożu betonowym | $\alpha_b = 0,2242 \cdot W + 13,989$ | $R^2 = 0,84$ |
| na podłożu szklanym | $\alpha_{sz} = 0,3655 \cdot W + 9,6853$ | $R^2 = 0,86$ |
| na podłożu gumowym | $\alpha_g = 0,1410 \cdot W + 18,52$ | $R^2 = 0,71$ |
| na podłożu stalowym | $\alpha_{st} = 0,2482 \cdot W + 14,04$ | $R^2 = 0,95$ |
| na podłożu drewnianym; | | |
| deska nieheblowana | $\alpha_{dn} = 0,0597 \cdot W + 24,893$ | $R^2 = 0,94$ |
| deska heblowana | $\alpha_{dh} = 0,2102 \cdot W + 13,845$ | $R^2 = 0,80$ |

Podane wyżej zależności ilustrują rysunki 1 i 2. Decydujący wpływ na wartość kąta naturalnego usypu i współczynnika tarcia zewnętrznego ma wilgotność nasion. Również rodzaj podłoża konstrukcyjnego ma wpływ na wartość tych cech fizycznych nasion łubinu. Na najczęściej używanym podłożu jakim jest guma transporterowa wartości współczynnika tarcia zewnętrznego przy zmianie wilgotności nasion od $W = 10\%$ do $W = 60\%$ zmieniają się od $\mu_g = 0,15$ do $\mu_g = 0,37$ dla łubinu Bar i od $\mu_g = 0,29$ do $\mu_g = 0,58$ dla łubinu Radames, a wartości kąta naturalnego usypu od $\alpha_g = 11,23^\circ$ do $\alpha_g = 22,11^\circ$ dla łubinu Bar i od $\alpha_g = 19,93^\circ$ do $\alpha_g = 26,98^\circ$ dla łubinu Radames. Wartości te wskazują również na duże różnice odmianowe badanych cech nasion łubinów Bar i Radames (rys. 3).

Ponieważ badania współczynnika tarcia zewnętrznego i kąta naturalnego usypu przeprowadzono dla tych samych wilgotności nasion i na tych samych podłożach konstrukcyjnych, sprawdzono czy istnieje zależność kąta naturalnego usypu α od współczynnika tarcia zewnętrznego μ . Okazało się, że zależność taka istnieje i można opisać ją poniższymi równaniami prostych (rys. 4).



Rys. 3. Różnice odmianowe kąta naturalnego usypu i współczynnika tarcia zewnętrznego badanych odmian łubinów Bar i Radames
 Fig. 3. Varietal differences in the external friction coefficient and the angle of natural repose for the investigated lupine cultivars Bar and Radames



Rys. 4. Zależność kąta naturalnego usypu od współczynnika tarcia zewnętrznego na wybranych podłożach konstrukcyjnych badanych odmian łubinów Bar i Radames
 Fig. 4. Dependence of the angle of natural repose on the external friction coefficient for the selected construction foundations and the investigated lupine cultivars Bar and Radames

Dla łubinu odmiany Bar:

- kąt naturalnego usypu α w funkcji współczynnika tarcia zewnętrznego μ ;
- na podłożu betonowym $\alpha_b = 43,67 \cdot \mu_b + 1,34$ $R^2 = 0,95$
- na podłożu szklanym $\alpha_{sz} = 53,96 \cdot \mu_{sz} + 0,86$ $R^2 = 0,85$
- na podłożu gumowym $\alpha_g = 47,86 \cdot \mu_g + 4,31$ $R^2 = 0,96$
- na podłożu stalowym $\alpha_{st} = 67,41 \cdot \mu_{st} - 0,05$ $R^2 = 0,93$
- na podłożu drewnianym;
- deska nieheblowana $\alpha_{dn} = 40,78 \cdot \mu_{dn} + 4,79$ $R^2 = 0,79$
- deska heblowana $\alpha_{dh} = 52,00 \cdot \mu_{dh} + 1,42$ $R^2 = 0,93$

Dla łubinu odmiany Radames:

- kąt naturalnego usypu α w funkcji współczynnika tarcia zewnętrznego μ ;
- na podłożu betonowym $\alpha_b = 39,78 \cdot \mu_b + 4,32$ $R^2 = 0,76$
- na podłożu szklanym $\alpha_{sz} = 59,11 \cdot \mu_{sz} - 1,91$ $R^2 = 0,86$
- na podłożu gumowym $\alpha_g = 22,97 \cdot \mu_g + 13,43$ $R^2 = 0,64$
- na podłożu stalowym $\alpha_{st} = 43,31 \cdot \mu_{st} + 5,66$ $R^2 = 0,8$
- na podłożu drewnianym;
- deska nieheblowana $\alpha_{dn} = 10,51 \cdot \mu_{dn} + 21,79$ $R^2 = 0,45$
- deska heblowana $\alpha_{dh} = 31,45 \cdot \mu_{dh} + 7,04$ $R^2 = 0,69$

Podsumowanie

Kąt naturalnego usypu α i współczynnik tarcia zewnętrznego μ nasion łubinu zależą przede wszystkim od wilgotności nasion i od rodzaju podłoża i są znacząco wyższe dla odmiany łubinu Radames.

Dla suchych ($W = 10\%$) nasion łubinu Bar najniższa wartość współczynnika tarcia zewnętrznego występuje na podłożu szklanym i wynosi $\mu_{sz} = 0,14$, a najwyższa na podłożu drewnianym (deska nieheblowana) $\mu_{dn} = 0,25$. Wraz ze wzrostem wilgotności do $W = 60\%$ wartości współczynnika tarcia zewnętrznego rosną zgodnie z równaniami prostych do wartości $\mu_{sz} = 0,39$ na szkle i do $\mu_{dn} = 0,45$ na drewnie nieheblowanym. Odpowiednio kąt naturalnego usypu wynosi od $\alpha_{sz} = 7,29^\circ$ do $\alpha_{sz} = 22,69^\circ$ na szkle i od $\alpha_{dn} = 14,08^\circ$ do $\alpha_{dn} = 23,88^\circ$ na drewnie nieheblowanym.

Dla łubinu Radames badane cechy osiągały odpowiednio wyższe wartości na wszystkich podłożach konstrukcyjnych przy wszystkich zmianach wilgotności nasion.

W zakresie wilgotności od $W = 10\%$ do $W = 60\%$ współczynnik tarcia zewnętrznego na szkle wynosił od $\mu_{sz} = 0,26$ do $\mu_{sz} = 0,56$, a na podłożu drewnianym (deska nieheblowana) od $\mu_{dn} = 0,32$ do $\mu_{dn} = 0,66$. Kąt naturalnego usypu w tym samym zakresie wilgotności wynosi od $\alpha_{sz} = 13,34^\circ$ do $\alpha_{sz} = 31,62^\circ$ na szkle i od $\alpha_{dn} = 25,49^\circ$ do $\alpha_{dn} = 28,47^\circ$ na drewnie.

Wyznaczanie współczynnika tarcia zewnętrznego metodą równi pochyłej jest bardzo proste [Ślipek 1999], natomiast wyznaczenie kąta naturalnego usypu stwarza większe trudności. Przy równoczesnym badaniu współczynnika tarcia zewnętrznego i kąta naturalnego usypu przy tych samych wilgotnościach nasion i na tych samych podłożach konstrukcyjnych można było porównać wyniki i obliczyć zależność kąta naturalnego usypu α od współczynnika tarcia zewnętrznego μ . Zależność tę opisują równania prostych rosnących (rys. 4).

Wnioski

1. Wartości współczynników tarcia zewnętrznego nasion łubinów Bar i Radames zależą od ich wilgotności i rosną wraz ze wzrostem wilgotności zgodnie z równaniami prostych w zakresie od $\mu_{sz} = 0,14$ do $\mu_{dn} = 0,66$.
2. Wartości kąta naturalnego usypu nasion łubinów Bar i Radames zależą od ich wilgotności i rosną wraz ze wzrostem wilgotności zgodnie z równaniami prostych w zakresie od $\alpha_{sz} = 7,29^\circ$ do $\alpha_{sz} = 31,62^\circ$.
3. W całym zakresie przeprowadzonych badań wartości współczynników tarcia zewnętrznego i kąta naturalnego usypu są znacznie większe dla nasion łubinu odmiany Radames.
4. Dla nasion badanych odmian łubinów Bar i Radames zależność kąta naturalnego usypu od współczynnika tarcia zewnętrznego można opisać równaniami prostych rosnących.

Bibliografia

- Andrejko D., Grochowicz J.** 1999. Warunki wykorzystania nasion łubinów jako wysokobiałkowego surowca paszowego. *Pasze przemysłowe*, nr 7/8. cz.1.
- Andrejko D., Grochowicz J.** 2003. Zmiany zawartości wody w nasionach łubinu spowodowane oddziaływaniem promieniowania podczerwonego. *Acta Agrophysica*. Nr 2 (4). s. 683-690.
- Byszewski W., Haman J.** 1977. *Gleba – Maszyna – Roślina*, PWN Warszawa.
- Grochowicz J., Andrejko D., Mazur J.** 2003. Określenie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych nasion polskich odmian łubinów. *Acta Agrophysica*. Nr 2 (3). s. 539-548.
- Kram B.B.** 2006. Badania współczynnika tarcia zewnętrznego ziaren zbóż funkcji wilgotności. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3. s. 175-182.
- Ślipek Z., Kaczorowski J., Frączek J.** 1999. *Analiza teoretyczno-doświadczalna tarcia materiałów roślinnych*. Kraków. ISBN 3-907553-9.

INVESTIGATION OF THE EXTERNAL FRICTION COEFFICIENT AND THE ANGLE OF NATURAL REPOSE OF CV. BAR AND RADAMES LUPINE SEEDS

Abstract. The objective of the investigation was to determine the external friction coefficient μ and the angle of natural repose α in the function of humidity W for lupine cultivars Bar and Radames on construction foundations (concrete, glass, rubber, steel, wood). Humidity significantly affects the investigated lupine seed properties (the values increase rectilinearly with an increase in humidity). The range of external friction coefficient values is from $\mu_{sz} = 0.14$ to $\mu_{dn} = 0.66$, and the range of the natural repose angle values is from $\alpha_{sz} = 7.29^\circ$ to $\alpha_{sz} = 31.62^\circ$. The dependency of the angle of natural repose on the external friction coefficient can be described by increasing straight-line equations.

Key words: lupine, external friction coefficient, angle of natural repose, construction foundation, concrete, glass, rubber, steel, wood

Adres do korespondencji:

Bronisława Barbara Kram; e-mail: kram@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław