

Krzysztof Lejman  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## OPORY SKRAWANIA GLEBY NARZĘDZIAMI O KSZTAŁCIE KLINA PROSTEGO I SYMETRYCZNEGO KLINA UKOŚNEGO

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań wpływu kształtu narzędzia na charakter przebiegu oporu w funkcji głębokości skrawania, prędkości skrawania i zwięzłości gleby. Badania sił działających na narzędzia o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego o kątach wzniosu  $30^\circ$  i  $50^\circ$  oraz szerokościach 9 i 14 cm przeprowadzono w warunkach polowych w glebie gliniastej średniej przy wilgotności  $12 \div 15\%$ . Stwierdzono, że kształt narzędzia wpływa istotnie na charakter zmian oporu w funkcji głębokości skrawania, natomiast nie wpływa na ten charakter w funkcji zwięzłości gleby. Przebiegi oporów w funkcji prędkości skrawania różnią się istotnie jedynie w przypadku kąta wzniosu  $50^\circ$  i szerokości 14 cm. W zdecydowanej większości przypadków wartości oporu skrawania klinem prostym były wyższe od oporu dla symetrycznego klina ukośnego.

**Słowa kluczowe:** gleba, opór skrawania, klin prosty, symetryczny klin ukośny

### Wstęp i cel badań

Dobór kształtu i geometrii elementu skrawającego glebę uzależnione są głównie od zamierzonego efektu agrotechnicznego. W przypadku kiedy efekt ten jest porównywalny przy zastosowaniu różnych narzędzi, podstawowym kryterium wyboru staje się energochłonność wykonywanego zabiegu, a więc wartość przewidywanego oporu skrawania. Duża różnorodność elementów skrawających stosowanych obecnie w narzędziach oraz zestawach uprawowych i doprawiających glebę stwarza konieczność rozpoznania wpływu ich kształtu na charakter przebiegu oporu skrawania w funkcji podstawowych parametrów determinujących jego wartość.

Celem badań było porównanie przebiegów oporu skrawania w zależności od zwięzłości gleby, głębokości i prędkości skrawania dla narzędzi o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego.

### Zakres, metody i warunki badań

Pomiary sił działających na narzędzia przeprowadzono w warunkach polowych w glebie o składzie granulometrycznym gliny średniej (piasek – 44%, pył – 16%, il – 39%) stosując stanowisko, którego opis przedstawiono w pracy Lejmana i Owsiaaka [1993]. Badania przeprowadzono w trzech niezależnych seriach, w których zmiennymi parametrami eksperymentu były: seria I - głębokość skrawania (4; 8; 12; 16 cm), seria II – prędkość skrawania (0,5; 1,0; 2,0; 3,0 m/s), seria III – zwięzłość gleby (280, 365, 495, 605, 765 kPa). W

seriach I i II wilgotność gleby wynosiła 14% – 15%, a w serii III – 12% – 13%. Obiektem badań były modele narzędzi (skala modelowania 1:1) o kątach wzniosu 30° i 50° oraz szerokościach 9 i 14 cm. Kolejne serie pomiarowe (I, II, III) cechowały się następującymi stałymi parametrami pomiaru: I – prędkość 2,0 m/s, średnia zwięzłość gleby 425 kPa, II – głębokość skrawania 12 cm, zwięzłość 530 kPa, III – głębokości 8 i 12 cm, prędkości 0,5 i 2,0 m/s,

Rzeczywiste głębokości pracy odbiegały nieznacznie od założonych, co spowodowane było wahaniami wysokości powierzchni pola, natomiast zwięzłości podane dla serii trzeciej są wartościami średnimi dla warstwy gleby do głębokości 20 cm. Ponieważ w trakcie analizy brano pod uwagę średnią zwięzłość warstwy do głębokości odpowiadającej głębokości pracy narzędzia, to analizowane zwięzłości różnią się od tych jakie podano dla całej warstwy.

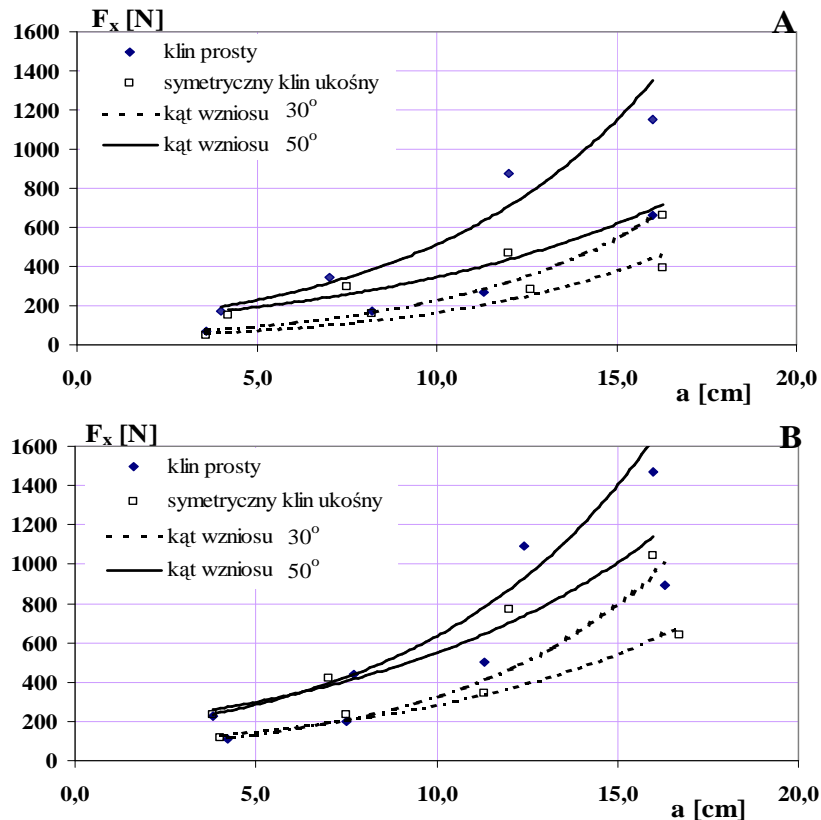
Przed przystąpieniem do badań glebę spulchniano glebogryzarką do głębokości około 25 cm, a następnie zagęszczano wałem gładkim. Różne stopnie zagęszczenia gleby uzyskiwano stosując odpowiednie krotności przejazdów wałem. Stan gleby opisano gęstością objętościową i wytrzymałością na ścinanie w warunkach równowagi granicznej. Wartości tych parametrów wynosiły dla serii I - 1,54 g/cm<sup>3</sup> i 34 kPa, dla serii II – 1,59 g/cm<sup>3</sup> i 38 kPa. W serii III, w której występowało pięć poziomów zagęszczenia, gęstości dla kolejnych poziomów wynosiły 1,52; 1,57; 1,59; 1,61 i 1,65 g/cm<sup>3</sup>, natomiast wytrzymałości na ścinanie – 25, 30, 34, 40 i 57 kPa.

Zwięzłość mierzono przy prędkości penetracji 3 cm/s, kącie wierzchołkowym stożka 60° i polu podstawy stożka 3 cm<sup>2</sup>. Wytrzymałość na ścinanie mierzono sondą skrzydełkową VANE-H60. Bezwzględne błędy pomiaru poszczególnych parametrów były następujące: opór skrawania - 6 N, zwięzłość - 5 kPa, gęstość objętościowa - 0,01 g/cm<sup>3</sup>, wilgotność - 0,1%, wytrzymałość na ścinanie - 1 kPa.

Analizę statystyczną wyników badań oparto na korelacji i regresji oraz testach do porównywania przebiegów funkcji [Volk 1973], przy czym ogólną postać formuł empirycznych opisujących wpływ poszczególnych parametrów na wartość oporu dobierano wzorując się na wcześniej przedstawionych pracach [Grisso i in. 1996, Lejman i in. 2002].

### **Wyniki badań**

Wzrost głębokości skrawania powoduje przyrost oporu, co można opisać, niezależnie od kształtu narzędzia, równaniem potęgowym o ogólnej postaci  $F_x = A e^{Bv}$  (rys. 1), a przedstawione w tab. 1 współczynniki determinacji są istotne dla poziomu prawdopodobieństwa  $\alpha < 0,05$ . Dla narzędzi o tym samym kształcie intensywność przyrostu oporu w funkcji głębokości jest wyższa zarówno przy kącie wzniosu 50° w porównaniu z 30°, jak i przy szerokości 14 cm w porównaniu z 9 cm.



Rys. 1. Wpływ głębokości skrawania ( $a$ ) na wartość oporu skrawania ( $F_x$ ) narzędziami o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego przy zmiennych kątach wzniosu: A – szerokość 9 cm, B – szerokość 14 cm

Fig. 1. Relationship between working depth ( $a$ ) and resistance force ( $F_x$ ) for simple wedge-shape tool and symmetrical skew wedge-shape tool under varied lift angles: A – width 9 cm, B – width 14 cm

Można stwierdzić, że wzrost kąta wzniosu i szerokości pociąga za sobą nieco inny charakter zmian wartości współczynników równań oporu w funkcji głębokości dla poszczególnych kształtów narzędzi. Wzrostowi kąta wzniosu i wzrostowi szerokości towarzyszy zarówno wzrost współczynnika (A) jak i spadek współczynnika (B) dla symetrycznego klina ukośnego i jedynie wzrost współczynnika (A) dla klina prostego, ponieważ różnice pomiędzy współczynnikami (B) dla tego narzędzia są nieistotne.

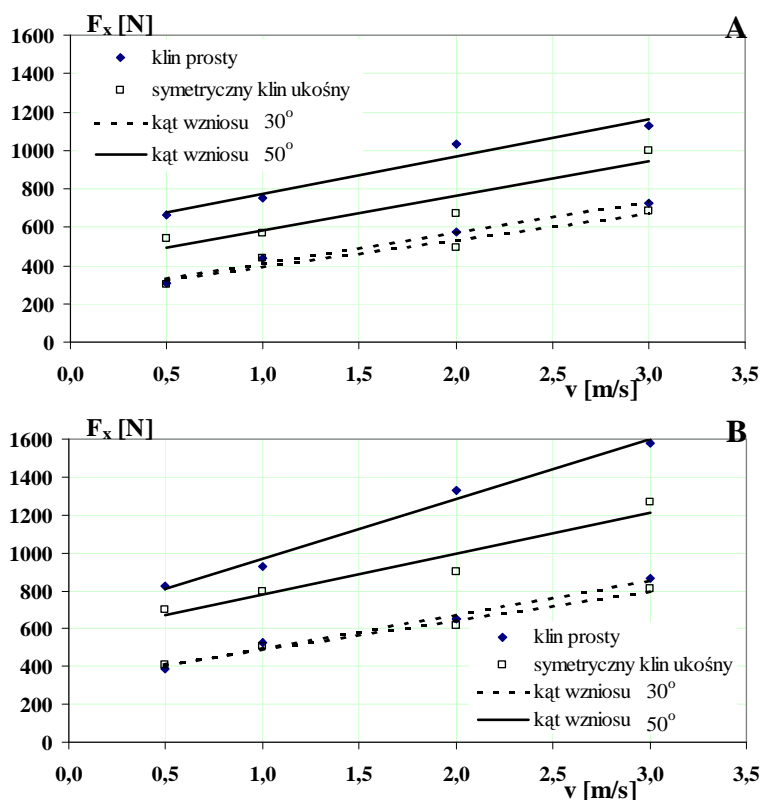
Tabela 1. Współczynniki równań (A) i (B) oporu skrawania ( $F_x$ ) w funkcji głębokości skrawania (a) i wyniki testów statystycznych wpływu kształtu narzędzia przy zmiennych kątach wzniosu ( $\alpha$ ) i szerokościach narzędzia (s)

Table 1. Values of coefficients (A) and (B) from equations describing the relationship between the resistance force ( $F_x$ ) and working depth (a) and results of statistical tests of influence of tool shape under varied lift angle ( $\alpha$ ) and tool width (s)

s [cm]	$\alpha$ [°]	Postać równania $F_x = A \cdot e^{B \cdot a}$						Wyniki testów statystycznych		
		Symetryczny klin ukośny			Klin prosty			Liczba stopni swobody	Wartość funkcji testowej	Poziom istotności
		A	B	$R^2$	A	B	$R^2$			
9	30	31,24	0,1658	0,9487	38,71	0,1761	0,9969	4	0,3567	0,7 - 0,8
	50	107,85	0,1248	0,9594	102,26	0,1613	0,9592		1,5453	0,1 - 0,2
14	30	76,36	0,1304	0,9768	54,07	0,1788	0,9787		2,0726	0,1 - 0,2
	50	162,26	0,1118	0,9744	128,63	0,1692	0,9812		1,7893	0,1 - 0,2

Do głębokości skrawania około 8 cm można zaobserwować bardzo zbliżone wartości oporu dla obu kształtów narzędzi. Dalszy wzrost głębokości powoduje wyższe przyrosty gradientu oporu dla klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym, a jedynie dla niższych wartości szerokości (9 cm) i kąta wzniosu (30°) intensywności przyrostu oporu są porównywalne. Wyższe gradienty oporu dla klina prostego znajdują swoje odzwierciedlenie w wyższych wartościach współczynników (B) stojących w wykładniku równania, a prezentowaną analizę potwierdzają wyniki testów statystycznych do porównywania przebiegów funkcji, które przedstawiono w tab. 1. Przyjmując hipotezę o istotnym wpływie kształtu narzędzia na charakter przebiegu oporu w funkcji głębokości skrawania możemy stwierdzić, że jest ona prawdziwa dla prawdopodobieństwa 20% - 30% przy kącie wzniosu 30° i szerokości 9 cm; w pozostałych przypadkach prawdopodobieństwo rośnie do 80% - 90%. Przedstawiona analiza sugeruje, że w agregatach przeznaczonych do pracy przy dużych zakresach głębokości skrawania korzystniejsze będzie stosowanie narzędzi o kształcie symetrycznego klina ukośnego, ponieważ w ich przypadku wzrost głębokości objawia się niższymi przyrostami oporu w porównaniu do tego, jakiego można by się było spodziewać stosując narzędzia o kształcie klina prostego.

Wpływ prędkości skrawania na wartość oporu przedstawiono na rys. 2, a wartości współczynników równań i wyniki testów statystycznych - w tab. 2. Wzrostowi prędkości towarzyszy liniowy przyrost oporu, przy czym gradient oporu rośnie przy wzroście kąta wzniosu i szerokości narzędzia niezależnie od jego kształtu.



Rys. 2. Wpływ prędkości skrawania ( $v$ ) na wartość oporu skrawania ( $F_x$ ) narzędziami o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego przy zmiennych kątach wzniosu: A – szerokość 9 cm, B – szerokość 14 cm

Fig. 2. Relationship between cutting speed ( $v$ ) and resistance force ( $F_x$ ) for simple wedge-shape tool and symmetrical skew wedge-shape tool under varied lift angles: A – width 9 cm, B – width 14 cm

Współczynniki determinacji prezentowanych równań są istotne dla poziomu prawdopodobieństwa  $\alpha < 0,05$ . Analizując zależności oporu w funkcji prędkości skrawania można zauważyć, że przy szerokości narzędzia 9 cm ich charakter jest zbliżony dla obu kształtów narzędzi, niezależnie od ich kąta wzniosu, co objawia się równoległym przebiegiem linii trendu. Podobną sytuację można zaobserwować dla wyższej szerokości (14 cm) i kąta wzniosu 30°. Wzrost kąta wzniosu do 50° powoduje, że gradienty oporu stają się wyższe dla narzędzi o kształcie klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym.

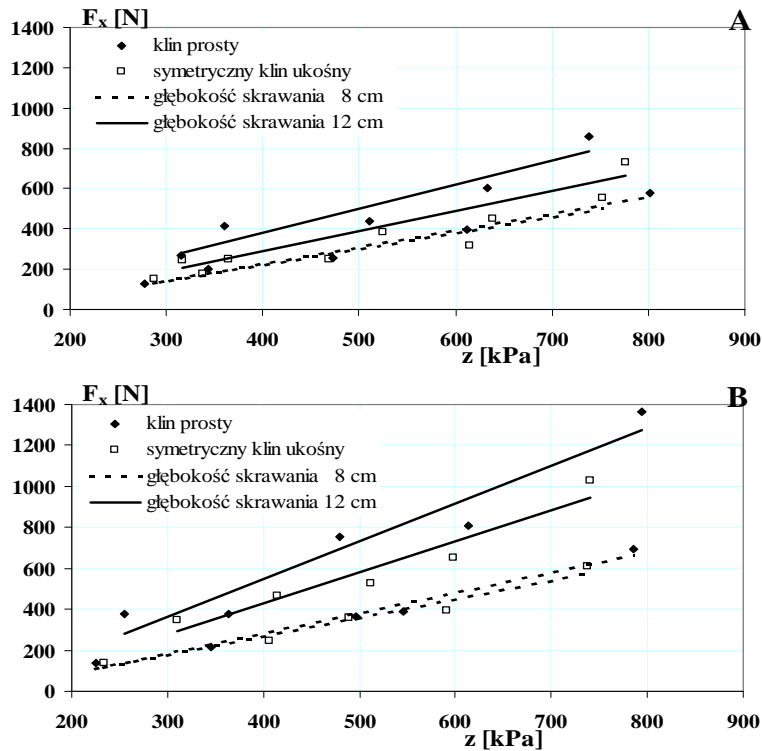
Tabela 2. Współczynniki równań (A) i (B) oporu skrawania ( $F_x$ ) w funkcji prędkości skrawania ( $v$ ) i wyniki testów statystycznych wpływu kształtu narzędzia przy zmiennych kątach wzniosu ( $\alpha$ ) i szerokościach narzędzia ( $s$ )

Table 2. Values of coefficients (A) and (B) from equations describing the relationship between the resistance force ( $F_x$ ) and cutting speed ( $v$ ) and results of statistical tests of influence of tool shape under varied lift angle ( $\alpha$ ) and tool width ( $s$ )

s [cm]	$\alpha$ [°]	Postać równania $F_x=A*v+B$						Wyniki testów statystycznych		
		Symetryczny klin ukośny			Klin prosty			Liczba stopni swobody	Wartość funkcji testowej	Poziom istotności
		A	B	$R^2$	A	B	$R^2$			
9	30	138,81	251,68	0,9423	161,73	247,44	0,9873	4	0,8325	0,4-0,5
	50	179,19	404,32	0,8943	194,61	578,51	0,9589		0,2963	0,7-0,8
14	30	153,93	332,61	0,9872	180,00	315,00	0,9900		1,3058	0,2-0,3
	50	214,85	567,37	0,9288	314,85	654,37	0,9870		2,0314	0,1-0,2

Zaobserwowane tendencje znajdują potwierdzenie w wynikach testów statystycznych (tab. 2.) ponieważ jedynie przy szerokości 14 cm i kącie wzniosu 50° prawdopodobieństwo, że współczynniki kierunkowe równań można uznać za istotnie różne osiąga wartość 80% - 90%. W pozostałych przypadkach różnice pomiędzy wartościami współczynników kierunkowych można uznać za nieistotne, co jest równoznaczne z tym, że gradienty oporu przy wzroście prędkości skrawania są takie same dla obu kształtów narzędzi. Tak więc można stwierdzić, że z pominięciem przypadków skrawania przy dużych szerokościach i jednocześnie dużych kątach wzniosu, przyrosty oporu spowodowane wzrostem prędkości skrawania nie będą zależały od kształtu narzędzia. Sugeruje to, że wzrost sił bezwładności przemieszczanej gleby i przyrost parametrów wytrzymałościowych, jakie towarzyszą wzrostowi prędkości skrawania [Kruszewski 1996, Lejman i in. 1998], są zbliżone dla obu kształtów narzędzi.

Opór skrawania narzędziami o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego rośnie liniowo przy wzroście zwięzłości gleby (rys. 3). Współczynniki determinacji uzyskanych równań (tab. 3) są istotne dla poziomu prawdopodobieństwa  $\alpha < 0,05$ . Stwierdzono, że niezależnie od kształtu narzędzia intensywność przyrostu oporu w funkcji zwięzłości jest wyższa przy prędkości 2 m/s w porównaniu z 0,5 m/s. Wyższa jest również intensywność przyrostu oporu przy większej głębokości skrawania - 12 cm w porównaniu z mniejszą - 8 cm.



Rys. 3. Wpływ zwięzłości gleby ( $z$ ) na wartość oporu skrawania ( $F_x$ ) narzędziami o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego przy zmiennych głębokościach skrawania: A – prędkość – 0,5 m/s, B – prędkość – 2,0 m/s

Fig. 3. Relationship between cone index of soil ( $z$ ) and resistance force ( $F_x$ ) for simple wedge-shape tool and symmetrical skew wedge-shape tool under varied working depth: A – cutting speed 0,5 m/s, B – cutting speed 2,0 m/s

Tabela 3. Współczynniki równań (A) and (B) oporu skrawania ( $F_x$ ) w funkcji zwięzłości gleby ( $z$ ) i wyniki testów statystycznych wpływu kształtu narzędzia przy zmiennych prędkościach skrawania ( $v$ ) i głębokościach skrawania ( $a$ )

Table 3. Values of coefficients (A) and (B) from equations describing the relationship between the resistance force ( $F_x$ ) and cone index of soil ( $z$ ) and results of statistical tests of influence of tool shape under varied cutting speed ( $v$ ) and dept of work ( $a$ )

$v$ [m/s]	$a$ [cm]	Postać równania $F_x=A*z+B$						Wyniki testów statystycznych		
		Symetryczny klin ukośny			Klin prosty			Liczba stopni swobody	Wartość funkcji testowej	Poziom istotności
		A	B	$R^2$	A	B	$R^2$			
0,5	8	0,80	-103,03	0,9091	0,84	-108,64	0,9856	6	0,2517	0,8-0,9
	12	1,00	-113,65	0,9200	1,19	-94,34	0,9000		0,6643	0,5-0,6
2,0	8	0,91	-98,19	0,9600	1,00	-117,73	0,9800		0,6251	0,5-0,6
	12	1,52	-176,27	0,9242	1,85	-190,92	0,9237		0,7942	0,4-0,5

Analizując przebiegi oporu (rys. 3) i wartości współczynników równań (tab. 3) stwierdzono, że współczynniki kierunkowe prezentowanych funkcji mają zbliżone wartości dla obu kształtów narzędzi. W wyniku przeprowadzonego testu do porównywania przebiegów funkcji nie potwierdzono hipotezy statystycznej o istotnym wpływie kształtu narzędzia na przebieg oporu w funkcji zwięzłości na poziomie prawdopodobieństwa  $\alpha < 0,4$  i można uznać, że kształt narzędzia nie wpływa istotnie na gradienty oporu. Przedstawiona analiza sugeruje, że o ile nie jest to narzucone wymaganiami agrotechnicznymi, to w agregatach przeznaczonych do doprawiania gleb o dużym zróżnicowaniu zagęszczenia można stosować zamiennie narzędzia o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego, ponieważ wzrost zwięzłości generuje bardzo zbliżone przyrosty oporu dla obu narzędzi.

### **Wnioski**

1. Wzrost głębokości skrawania, prędkości skrawania i zwięzłości gleby powoduje wzrost oporu skrawania, który niezależnie od kształtu narzędzia można opisać odpowiednio równaniem wykładniczym i równaniami prostych.
2. Dla analogicznych parametrów skrawania i warunków glebowych wyższą wartością oporu cechują się narzędzia o kształcie klina prostego w porównaniu z narzędziami o kształcie symetrycznego klina ukośnego.
3. Istotnie większymi przyrostami oporu spowodowanymi wzrostem prędkości cechują się narzędzia o kształcie klina prostego w porównaniu z klinem ukośnym przy kątach wzniosu  $50^\circ$  i szerokościach 14 cm; dla pozostałych parametrów kształt narzędzia nie wpływa na gradienty oporu.
4. Wzrost głębokości skrawania powoduje intensywniejszy przyrost oporu skrawania narzędziami o kształcie klina prostego w porównaniu z narzędziami o kształcie symetrycznego klina ukośnego, przy czym różnice gradientów rosną wraz ze wzrostem kąta wzniosu i szerokości narzędzia.
5. Kształt narzędzia nie wpływa istotnie na przyrosty oporu spowodowane wzrostem zwięzłości gleby.
6. Dla analogicznych kształtów narzędzi wyższe gradienty oporu występują przy wyższych poziomach kąta wzniosu, szerokości narzędzia oraz głębokości i prędkości skrawania.

### **Bibliografia**

Grisso R. D., Yasin M., Kocher M. F. 1996. Tillage implement forces operating in silty clay loam, Transactions of the ASAE vol. 39(6), 1977-1982



- Kruszewski Z. 1996. Prędkość przemieszczania elementu czynnego a wytrzymałość gleby, Roczniki AR w Poznaniu, Rolnictwo CCLXXXVI, 93-97
- Lejman K., Owsiak Z. 1993. Badania testacyjne stanowiska do pomiaru sił działających na narzędzia pracujące w glebie, Roczniki Nauk Rolniczych t. 79-C-4, 107-112
- Lejman K., Owsiak Z. 1998. Dynamika skrawania gleby narzędziami rolniczymi, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 454, 103-110
- Lejman K., Owsiak Z. 2002. Zwięzłość jako czynnik determinujący opory skrawania gleby klinem prostym, Inżynieria Rolnicza nr. 5, 27-35
- Volk W. 1973. Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT Warszawa

## **RESISTANCE OF SOIL TO A SIMPLE WEDGE-SHAPED TOOL AND A SYMMETRIC DIAGONAL-WEDGE TOOL**

### **Summary**

This paper presents results of studies on soil resistance. Research was conducted in field conditions on loamy clay soil. Models of symmetrical skew wedge-shaped and simple wedge-shaped tillage tools of 30° and 50° lift angle and with 9 cm and 14 cm tool width were used. Influence of the tool shape on the resistance force in relationship to the cone index of soil, depth of work and cutting speed were analysed. Analysis of the results obtained has proved that the tool shape significantly influences the resistance forces as far as the depth is concerned but does not influence the function of the cone index. Courses of soil resistance as a function of cutting speed do not differ significantly only for the tool width and tool angle (14 cm, 50°). Resistance forces of simple wedge-shaped tools were higher than those of symmetric diagonal wedge-shaped tools.

**Key words:** soil, cutting resistance, plain wedge, symmetric diagonal wedge