

Krzysztof Lejman  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## SIŁY PIONOWE DZIAŁAJĄCE NA NARZĘDZIA O KSZTAŁCIE KLINA PROSTEGO I SYMETRYCZNEGO KLINA UKOŚNEGO

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań wpływu głębokości i prędkości skrawania na wartości sił pionowych. 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 o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej przy wilgotności 12÷14%. Stwierdzono, że wzrost głębokości i prędkości skrawania powodują przyrost wartości sił pionowych (zagłębiających). Wyższymi wartościami sił zagłębiających charakteryzują się narzędzia o kształcie klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym. Wyższe wartości sił obserwuje się również przy skrawaniu narzędziami o większej szerokości lub mniejszym kącie wzniosu, przy czym narzędzia te charakteryzuje również wyższy gradient siły zarówno przy wzroście głębokości jak i prędkości skrawania.

**Słowa kluczowe:** gleba, skrawanie, siły pionowe, klin prosty, symetryczny klin ukośny

### Wstęp i cel badań

Jednym z głównych kryteriów właściwego doboru kształtu i geometrii narzędzi skrawających glebę jest uzyskanie zamierzonego efektu agrotechnicznego. Nie bez znaczenia jednak pozostaje konieczność przewidywania działających na nie sił, ponieważ ich znajomość wpływa na poprawność procesu projektowania narzędzia i energochłonność przeprowadzanego zabiegu. Siły pionowe działając na elementy podporowe i kopiujące wpływają pośrednio na energochłonność zabiegu, ponadto od ich wartości i zwrotu zależy stateczność pionowa narzędzia i jego zagłębialność. Pomimo to, dotychczasowe badania [Salokhe 1992; Grisso 1996] skupiały się głównie na wyznaczeniu wartości sił poziomych, które wpływają bezpośrednio na opór skrawania, natomiast siły pionowe badane były fragmentarycznie i brak jest uogólnień dotyczących wpływu na nie podstawowych parametrów determinujących proces skrawania.

*Krzysztof Lejman*

W rozwiązaniach analitycznych [Swick, Perumpral 1988; McKyes, Ali 1977], opierających się na rozkładzie sił działających na przemieszczający się w glebie klin, siły pionowe są skierowane w dół, co sugeruje, że niezależnie od parametrów skrawania, będą one powodowały zagłębianie narzędzia. Tymczasem w trakcie skrawania gleby mogą występować również siły wygłębiające [Wheeler, Godwin 1996; Lejman, Owsiak 1996], co sugeruje, że opis teoretyczny jest niepełny i konieczne jest podjęcie badań zmierzających do wyznaczenia wpływu podstawowych parametrów pracy narzędzia na wartość i zwrot sił pionowych.

Celem badań było wyznaczenie wpływu głębokości i prędkości skrawania na wartości sił pionowych działających na narzędzia o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego.

### **Zakres, metody i warunki badań**

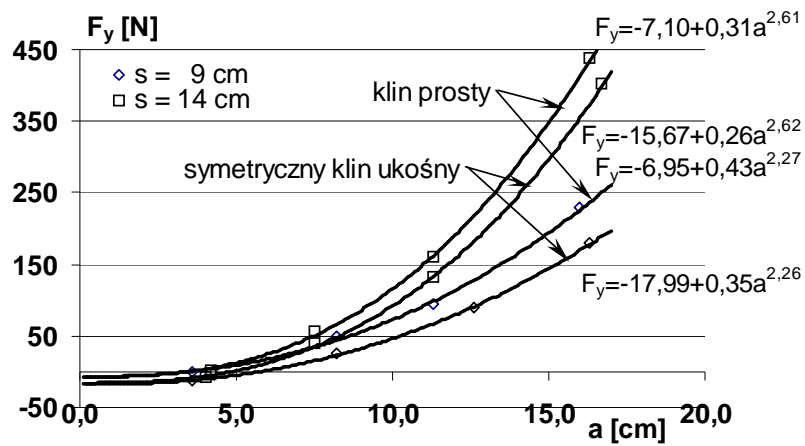
Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glebie o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej (piasek – 71%; pył – 18%; il – 12%) przy wilgotności 12% – 14%. Stan gleby opisano gęstością objętościową, wytrzymałością na ścinanie w warunkach równowagi granicznej i zwięzłością. Średnie wartości tych parametrów, mierzone w dziesięciu powtórzeniach w warstwie do głębokości 20 cm, wynosiły odpowiednio: 1,54 g/cm; 40 kPa i 450 kPa.

Mierzono siły pionowe działające na modele narzędzi (skala 1:1) o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego o kątach wzniosu 30° i 50° oraz szerokościach 9 i 14 cm. Kąt przyłożenia narzędzi wynosił 5°, natomiast podwójny kąt przystawienia narzędzi o kształcie symetrycznego klina ukośnego – 60°. Pomiarów sił dokonano w dwóch seriach – w serii pierwszej przy czterech poziomach głębokości skrawania w przedziale od 4 do 16 cm i prędkości 2 m/s – w serii drugiej przy czterech prędkościach skrawania w zakresie od 0,5 do 3 m/s i głębokości 12 cm.

Stosowano stanowisko do pomiaru sił działających na narzędzia pracujące w glebie [Lejman, Owsiak 1993], które było zagregatowane z ciągnikiem Ursus C-360. Błąd pomiaru siły pionowej wynosił 5 N. Przy wyznaczaniu zależności regresyjnych brano pod uwagę średnią wartość siły z pięciu powtórzeń przyjmując założenie, że siłą o wartości dodatniej jest siła zagłębiająca narzędzie.

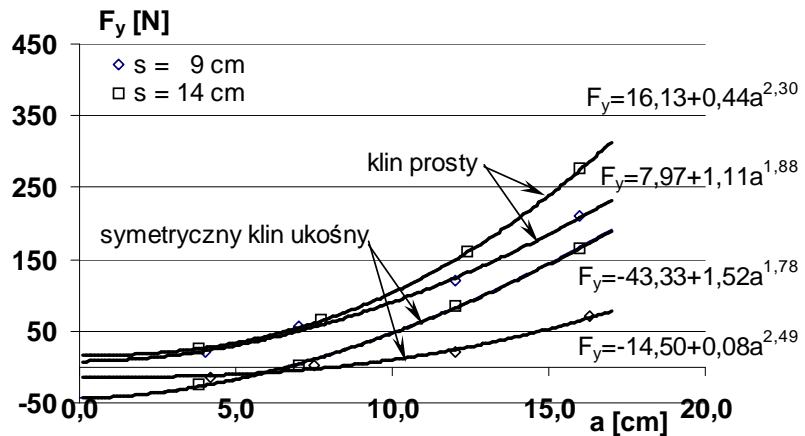
### **Wyniki badań**

Wartości sił pionowych rosną wraz ze wzrostem głębokości skrawania, co można opisać równaniem potęgowym ( $F_y = A + B \cdot x^C$ ;  $R^2 = 0,9920 \div 0,99$ ) niezależnie od kształtu narzędzia, jego szerokości i kąta wzniosu (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Wpływ głębokości skrawania ( $a$ ) na wartość siły pionowej ( $F_y$ ) przy zmiennych szerokościach narzędzia ( $s$ ) i kącie wzniosu  $30^\circ$

Fig. 1. Relationship between working depth ( $a$ ) and vertical force ( $F_y$ ) under varied widths ( $s$ ), lift angle  $30^\circ$



Rys. 2. Wpływ głębokości skrawania ( $a$ ) na wartość siły pionowej ( $F_y$ ) przy zmiennych szerokościach narzędzia ( $s$ ) i kącie wzniosu  $50^\circ$

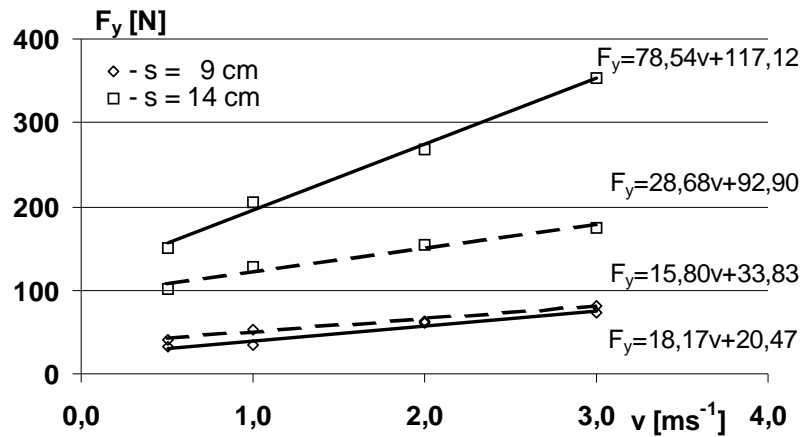
Fig. 2. Relationship between working depth ( $a$ ) and vertical force ( $F_y$ ) under varied widths ( $s$ ), lift angle  $50^\circ$

Obserwowany wzrost sił pionowych jest wynikiem zwiększania ciężaru podnoszonej gleby, przy czym teoretycznie można założyć, że przedstawione zależności będą słuszne w zakresie głębokości, dla których następuje jedynie trzykierunkowe odkształcanie gleby. Dalszy wzrost głębokości powoduje przekroczenie głębokości krytycznej [Godwin, Spoor 1997], co wiąże się z pojawieniem strefy odkształceń dwukierunkowych, czego konsekwencją może być zmiana charakteru przebiegu analizowanych zależności.

Dla analogicznych szerokości skrawania i kątów wzniosu wyższe wartości sił oraz ich gradienty można zaobserwować dla narzędzi o kształcie klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym. Można to przypisać większej objętości gleby obciążającej powierzchnię roboczą klina prostego. Wyższe wartości siły stwierdzono również przy skrawaniu narzędziami o kącie wzniosu  $30^\circ$  w porównaniu z  $50^\circ$  oraz narzędziami o szerokości 14 cm w porównaniu z 9 cm. Spadek wartości siły pionowej przy wzroście kąta wzniosu można tłumaczyć zmniejszeniem wartości składowej pionowej oporu czołowego, natomiast wzrost wartości siły przy wzroście szerokości narzędzia jest efektem zwiększenia objętości podnoszonej gleby.

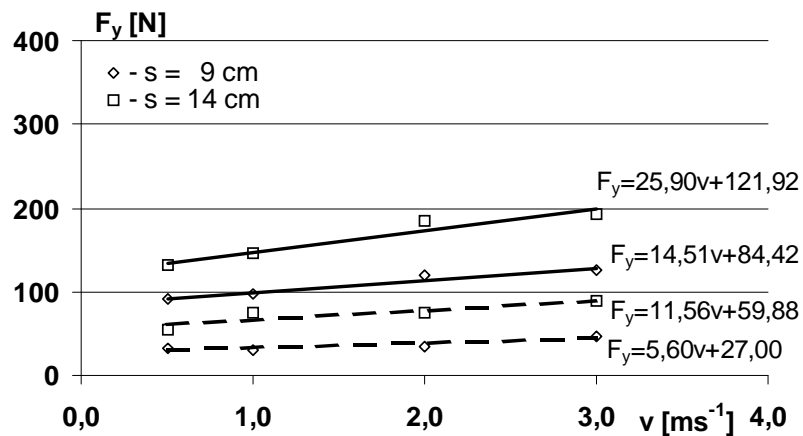
W zakresie małych głębokości skrawania (do około 6 cm) można zaobserwować zbliżone do zera wartości sił pionowych przy skrawaniu narzędziami o kształcie klina prostego oraz występowanie sił wygłębiających dla narzędzi o kształcie symetrycznego klina ukośnego. Sugeruje to, że składowa pionowa oporu czołowego, który jest związany z ciężarem podnoszonej gleby oraz siłami stycznymi działającymi wzdłuż płaszczyzny poślizgu skiby, nie jest jedynym czynnikiem kształtującym wartości sił pionowych. Występowanie składowej siły pionowej skierowanej ku górze, która zmniejsza wartości siły zagłębiającej narzędzie, można hipotetycznie przypisać istnieniu składowej oporu przecinania gleby o właśnie takim zwrocie.

Wpływ prędkości skrawania na wartości sił pionowych przedstawiono na rys. 3 i 4. Zgodnie z analizą teoretyczną wzrost prędkości skrawania powoduje wzrost bezwładności podnoszonej gleby, czego konsekwencją powinien być paraboliczny wzrost wartości siły pionowej. Tym czasem, obserwowane przebiegi mają postać prostych, niezależnie od kształtu narzędzia, jego szerokości i kąta wzniosu. Potwierdza to, co sugerowano wcześniej, że oprócz siły oporu czołowego występuje dodatkowa, skierowana ku górze składowa siły pionowej, która zmienia charakter jakościowy omawianych przebiegów. Współczynniki determinacji przedstawionych równań zawierają się w zakresie od 0,77 do 0,99, przy czym najniższe wartości (0,77 i 0,79) stwierdzono dla narzędzi o kształcie symetrycznego klina ukośnego o kątach wzniosu  $50^\circ$  (rys. 4), dla których zaobserwowano również najniższe wartości współczynników kierunkowych, co sugeruje, że dla takiego przypadku, wzrost sił bezwładności towarzyszący wzrostowi prędkości jest kompensowany przyrostem składowych sił wygłębiających.



Rys. 3. Wpływ prędkości skrawania ( $v$ ) klinem prostym (—) i symetrycznym klinem ukośnym (- - -) na wartość siły pionowej ( $F_y$ ) przy zmiennych szerokościach narzędzia ( $s$ ) i kącie wzniosu  $30^\circ$

Fig. 3. Vertical force ( $F_y$ ) as a function of cutting speed ( $v$ ) under varied widths ( $s$ ) and lift angle  $30^\circ$ : simple wedge-shape tool —, symmetrical skew wedge-shape tool - - - -



Rys. 4. Wpływ prędkości skrawania ( $v$ ) klinem prostym (—) i symetrycznym klinem ukośnym (- - -) na wartość siły pionowej ( $F_y$ ) przy zmiennych szerokościach narzędzia ( $s$ ) i kącie wzniosu  $50^\circ$

Fig. 4. Vertical force ( $F_y$ ) as a function of cutting speed ( $v$ ) under varied widths ( $s$ ) and lift angle  $50^\circ$ : simple wedge-shape tool —, symmetrical skew wedge-shape tool - - - -

*Krzysztof Lejman*

Analizując przedstawione przebiegi można stwierdzić, że wyższe wartości sił pionowych oraz wyższe ich przyrosty obserwuje się przy większych wartościach szerokości skrawania i mniejszych kątach wzniosu. Wyższe są również wartości sił i ich gradienty przy skrawaniu klinem prostym w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym, przy czym wyjątek od tej reguły stanowią narzędzia obu kształtów o szerokości 9 cm i kącie wzniosu  $30^\circ$ , dla których zaobserwowano zbliżone jakościowo i ilościowo przebiegi sił w funkcji prędkości skrawania.

### **Wnioski**

Dla przyjętego zakresu i warunków badań sformułowano następujące wnioski:

1. Wzrost głębokości i prędkości skrawania powodują przyrost wartości sił pionowych, co można opisać odpowiednio równaniami potęgowym i prostej.
2. Opór czołowy skrawania nie jest jedynym czynnikiem kształtującym wartości sił pionowych działających na narzędzie.
3. Zaobserwowane różnice jakościowe i ilościowe wyznaczonych przebiegów sił pionowych w stosunku do teoretycznych można hipotetycznie przypisać występowaniu składowej pionowej o zwrocie ku górze, która jest związana z siłami przecinania gleby.
4. Dla analogicznych parametrów skrawania wyższymi wartościami sił zagłębiających charakteryzują się narzędzia o kształcie klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym.
5. Wyższe wartości sił pionowych obserwuje się przy skrawaniu narzędziami o większej szerokości lub mniejszym kącie wzniosu, przy czym narzędzia te charakteryzuje również wyższy gradient siły zarówno przy wzroście głębokości jak i prędkości skrawania.

### **Bibliografia**

Godwin R. J., Spoor G. 1997. Soil failure with narrow tines, *J. agric. Engng. Res.*, 22 (4), 213-228.

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.

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. 1996. Analiza sił pionowych działających na lemiesz obsypnika, *ZN AR we Wrocławiu, Mechanizacja Rolnictwa IV*, 302, 67-73.

Salokhe V. M., Suharno, Gee-Clough D. 1992. Effect of enamel coating on the field performance of a mouldboard plough. *Soil & Tillage Research*, 24, 285-297.

Swick W. C., Perumpral J. V. 1988. A model for predicting soil - tool interaction, *J. Terramechanics*, Vol. 25, 43-56.

McKyes E., Ali O. S. 1977. The cutting of soil by narrow blades, *J. Terramechanics*, Vol. 14, No. 2, 43-58.

Wheeler P. N., Godwin R. J. 1996. Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h, *J. agric. Engng. Res.*, 63, 243-250.

Zhang Ji, Kushwaha R. L. 1995. A modified model to predict soil cutting resistance, *Soil and Tillage Res.*, 34, 157-168.

## **VERTICAL FORCES APPLIED TO THE TOOLS HAVING THE FORM OF STRAIGHT WEDGE AND SKEW-SYMMETRICAL WEDGE**

### **Summary**

The vertical soil forces acting on wedge-shape and skew wedge shape tools with varied width and lift angle were measured. Investigations were conducted in field conditions in light clay soil (moisture 12%-14%). Working depth was between 4 and 16 cm and speed was between 0,5 and 3,0 m/s. It was found that vertical forces increase with increase of depth and speed. Higher vertical forces are observed for wedge-shape tool, higher width and lower lift angle.

**Key words:** soil, slicing, vertical forces, straight wedge, skew-symmetrical wedge