

## WPŁYW ZWIĘZŁOŚCI GLEBY NA WARTOŚCI SIŁ PIONOWYCH DZIAŁAJĄCYCH NA NARZĘDZIA KULTYWACYJNE

Krzysztof Lejman

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań sił pionowych działających na narzędzia o kształtach klina prostego i symetrycznego klina ukośnego skrawające glebę. Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glinie piaszczystej o wilgotności 10,8-12,2%. Stwierdzono niemonotoniczny przebieg zmian sił pionowych przy wzroście zwięzłości gleby, który można opisać równaniem paraboli, niezależnie od kształtu narzędzia oraz prędkości i głębokości skrawania. Większe wartości sił zagłębiających oraz ich gradienty przy wzroście zwięzłości zaobserwowano przy większych głębokościach i prędkościach skrawania. Większe wartości i intensywności zmian tych sił stwierdzono również przy skrawaniu narzędziami o kształcie symetrycznego klina ukośnego w porównaniu z klinem prostym.

**Słowa kluczowe:** gleba, zwięzłość, skrawanie, siły pionowe

### Wstęp i cel pracy

Pomimo długiej historii zagadnienia związane ze skrawaniem gleby narzędziami rolniczymi zawierają nadal szereg problemów pilnych i istotnych do rozwiązania. Dotychczasowe badania sił działających na narzędzia skrawające glebę koncentrowały się głównie na ustaleniu wartości sił poziomych wpływających bezpośrednio na energochłonność zabiegu. Brak jest natomiast kompleksowych badań dotyczących wpływu podstawowych parametrów skrawania na wartości sił pionowych, które decydują o stateczności pionowej narzędzia, zagłębialności oraz o wartości sił występujących w zespołach kopiujących i podporowych.

Zgodnie z analizą teoretyczną procesu skrawania gleby, opartą 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 [Swick i Perumpral 1988; McKeys i Ali 1977]. Tymczasem liczne badania empiryczne dowodzą, że w trakcie skrawania gleby mogą występować również siły wygłębiające [Wheeler i Godwin 1996, Lejman i Owsiak 1996, Lejman 2006], co sugeruje, że opis teoretyczny procesu 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 zwięzłości gleby gliniastej lekkiej na wartości sił pionowych działających na narzędzia kultywacyjne z uwzględnieniem zmian kształtu narzędzia oraz prędkości i głębokości skrawania.

## Metodyka badań

Badania przeprowadzono w glebie o składzie granulometrycznym gliny piaszczystej (piasek - 71%, pył - 18%, il - 12% według PN-R-04033) przy wilgotności wagowej 10,8-12,2%. Przed przystąpieniem do badań glebę spulchniano glebogryzarką, a następnie zagęszczano wałem gładkim o masie 400 kg i średnicy 0,5 m. Rosnące poziomy zagęszczenia uzyskano stosując 1, 3, 4, 6 i 12 przejazdów wałem z prędkością  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Średnie wartości gęstości objętościowej i wytrzymałości gleby na ścinanie oraz przedziały zmienności jej zwięzłości dla poszczególnych poziomów zagęszczeń przedstawiono w tabeli 1. Wytrzymałość na ścinanie mierzono sondą VANE-H60 natomiast gęstość – przy użyciu standardowej metodyki. Oba parametry mierzono w pięciu powtórzeniach i w trzech warstwach gleby: 0-5, 5-10 i 10-15 cm. Zwięzłość mierzono zwięzłościomierzem z napędem mechanicznym i elektronicznym systemem zapisu danych. Stosowano sondę w kształcie stożka o polu podstawy  $3 \text{ cm}^2$  i kącie wierzchołkowym  $60^\circ$ . Prędkość penetracji wynosiła  $3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Błąd pomiaru zwięzłości wynosił 5 kPa. Pomiarów zwięzłości dokonywano w pięciu powtórzeniach na każdym odcinku, na którym później przeprowadzano pomiary sił. Zgodnie z przyjętym celem badań, zmienną niezależną była średnia wartość zwięzłości mierzona do głębokości odpowiadającej głębokości pracy narzędzia, obliczana z wzoru:

$$z = \frac{\int_{s=0}^{s=a} G(s) ds}{P \cdot a} \quad (1)$$

gdzie:

- $z$  – zwięzłość [kPa],
- $G$  – opór zagłębiania sondy [kN],
- $s$  – głębokość pomiaru zwięzłości [m],
- $P$  – pole podstawy stożka [ $\text{m}^2$ ],
- $a$  – głębokość pracy narzędzia skrawającego [m].

Tabela 1. Parametry gleby

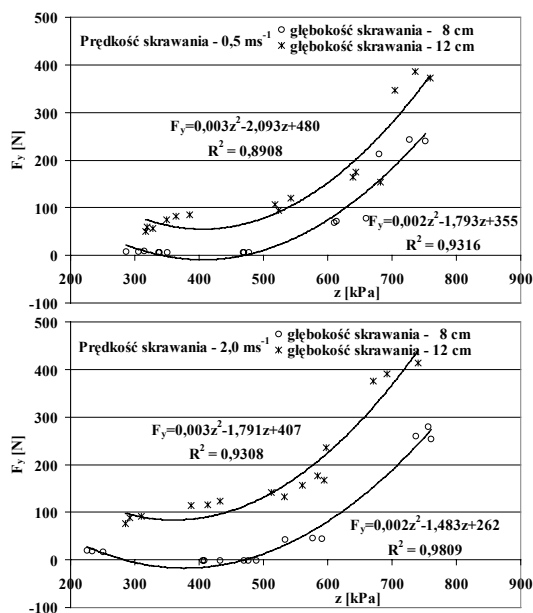
Table 1. Soil parameters

Parametr	Poziom zagęszczenia				
	I	II	III	IV	V
	Krotność wałowań				
	1	3	4	6	12
Wilgotność [%]	11,1	10,2	10,5	11,5	12,2
Gęstość objętościowa [ $\text{g cm}^{-3}$ ]	1,52	1,57	1,59	1,61	1,65
Wytrzymałość na ścinanie [kPa]	25	30	34	40	57
Zwięzłość [kPa]	212 - 331	312 - 437	435 - 557	546 - 670	690 - 832

Siły pionowe działające na narzędzia mierzono przy użyciu stanowiska [Lejman i Owsiak 1993] zagregowanego z ciągnikiem Ursus C-360. Błąd pomiaru siły wynosił 2 N. Ze względu na możliwość występowania sił o różnych zwrotach przyjęto założenie, że siłą o wartości dodatniej jest siła zagłębiająca narzędzie. Obiektem badań były narzędzia o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego o szerokościach 14 cm, kątach wzniosu 30° i kątach przyłożenia 5°. Podwójny kąt przystawienia symetrycznego klina ukośnego wynosił 60°. Stosowano dwie prędkości skrawania 0,5 i 2,0 m·s<sup>-1</sup> oraz dwie głębokości skrawania 8 i 12 cm. Zależności pomiędzy siłą pionową i zwięzłością wyznaczano przy użyciu analizy regresji testując istotność współczynnika korelacji na poziomie prawdopodobieństwa  $\alpha=0,05$ .

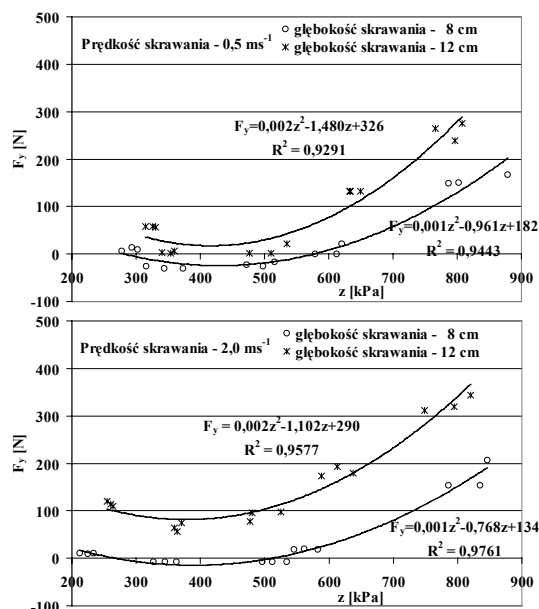
## Wyniki badań i ich analiza

W większości przypadków, wzrost zwięzłości gleby powoduje początkowo niewielki spadek a następnie wzrost siły pionowej (rys. 1 i 2), co opisano równaniem parabol przy współczynnikach determinacji zawierających się w granicach od 0,8908 do 0,9809. Stwierdzono, że uzyskane korelacje (0,9438÷0,9904) są istotne przy 13 stopniach swobody dla poziomu prawdopodobieństwa przekraczającego 0,001, a więc wyższego od granicznego.



Rys. 1. Wpływ zwięzłości gleby ( $z$ ) na wartości sił pionowych ( $F_y$ ) działających na narzędzie o kształcie symetrycznego klina ukośnego

Fig. 1. Vertical forces ( $F_y$ ) acting on the symmetrical-skew wedge tool as a function of soil cone index ( $z$ )



Rys. 2. Wpływ zwięzłości gleby ( $z$ ) na wartości sił pionowych ( $F_y$ ) działających na narzędzie o kształcie klina prostego

Fig. 2. Vertical forces ( $F_y$ ) acting on the simple wedge-shape tool as a function of soil cone index ( $z$ )

Niemonotoniczny przebieg siły pionowej w funkcji zwięzłości można przypisać nakładaniu się kilku zjawisk, jakie towarzyszą wzrostowi zwięzłości. Na podstawie analizy teoretycznej procesu skrawania [Swick i Perumpral 1988] można stwierdzić, że wzrostowi zwięzłości gleby, która jest dodatnio skorelowana z gęstością i parametrami wytrzymałościowymi (tab. 1), towarzyszy wzrost oporu czołowego. Wzrost ten jest wynikiem zwiększenia zarówno masy podnoszonej gleby, jak i zwiększania oporu przemieszczania skiby wzdłuż płaszczyzny jej poślizgu, czego konsekwencją powinien być ciągły wzrost siły zagłębiającej narzędzie przy wzroście zwięzłości. Wzrost zwięzłości powoduje również zwiększenie siły odspajania gleby przez krawędź tnącą narzędzia, która zdaniem wielu autorów jest przyczyną występowania sił wygłębiających [Wheeler i Godwin 1996, Lejman 2006]. Konsekwencje wynikające z przedstawionej analizy literaturowej oraz uzyskane przebiegi eksperymentalne (rys. 1 i 2) sugerują, że początkowemu etapowi wzrostu zwięzłości towarzyszy intensywniejszy przyrost składowej pionowej siły odspajania w porównaniu z intensywnością wzrostu składowej pionowej oporu czołowego, co objawia się spadkiem wartości siły pionowej. Tendencja ta występuje do wartości zwięzłości, przy której przebiegi sił pionowych osiągają swoje minimum. Dalszy wzrost zwięzłości charakteryzuje się większymi gradientami składowej pionowej oporu czołowego w porównaniu ze składową pionową siłą odspajania, czego konsekwencją jest obserwowany przyrost wartości sił zagłębiających.

Jak wynika z przedstawionych przebiegów (rys. 1 i 2), większe wartości sił zagłębiających występują przy większych głębokościach i wyższych prędkościach skrawania. Przy skrawaniu symetrycznym klinem ukośnym, wzrost głębokości z 8 do 12 cm powoduje względny przyrost siły zagłębiającej średnio o 160%, natomiast wzrost prędkości z 0,5 do 2,0 m·s<sup>-1</sup> skutkuje przyrostem 14%. Dla klina prostego przyrosty te są wyższe i wynoszą odpowiednio 300% i 65%. Wyższe przyrosty sił zagłębiających, jakie występują przy klinie prostym, można wytłumaczyć większą objętością gleby i kierunkiem jej przemieszczania bardziej zbliżonym do pionowego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym, przy pracy którego występują większe przemieszczenia na boki.

Porównując przebiegi przedstawione na rys. 1 i 2 można stwierdzić, że, dla analogicznych zwięzłości, głębokości i prędkości skrawania, mniejsze siły zagłębiające działają na narzędzia o kształcie klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym. Prezentowana tendencja jest odwrotna do tej, jaką zaobserwował wcześniej Lejman [2006], prowadząc badania w tej samej glebie, lecz przy wyższej wilgotności (~14%). Mniejsze wartości sił zagłębiających działających na klin prosty sugerują, że spadek wilgotności gleby powoduje zwiększenie udziału sił odpajania (przecinania) w składowej pionowej przy jednoczesnym spadku w tej składowej sił pochodzących od oporu czołowego. Ponieważ, jak stwierdzono wcześniej, za główną przyczynę powstawania składowej wygłębiającej można uznać skierowane ku górze opory przecinania gleby to należy stwierdzić, że mniejsze wartości sił wygłębiających zdeterminowane są mniejszą wartością kąta przystawienia krawędzi tnącej, jaka występuje w symetrycznym klinie ukośnym w porównaniu z klinem prostym. Jak wynika z prezentowanych badań, wyższe wartości sił o zwrocie ku górze, jakie występują na krawędzi tnącej klina prostego w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym, nie są kompensowane również wyższymi wartościami sił pionowych, jakie działają na to narzędzie, a pochodzących od oporu czołowego skrawania.

Na podstawie analizy przebiegu uzyskanych funkcji i wyznaczonych jej ekstremów (tab. 2) stwierdzono, że najniższe wartości sił pionowych obserwuje się w zakresie zwięzłości od 275 do 480 kPa, przy czym zwięzłości, przy których występuje minimum przebiegu, są mniejsze przy większych głębokościach i prędkościach skrawania oraz w większości przypadków dla symetrycznego klina ukośnego w porównaniu z klinem prostym. Stwierdzono również, że, w przyjętym zakresie badań, siły wygłębiające narzędzie występują w zakresie zwięzłości od około 250 do około 600 kPa jedynie przy niższej głębokości, niezależnie od prędkości i kształtu narzędzia.

Tabela 2. Minima przebiegu funkcji  $F_y=f(z)$

Table 2. Minima of function cross  $F_y=f(z)$

Kształt narzędzia	Głębokość skrawania [cm]	Prędkość skrawania [m·s <sup>-1</sup> ]	Minimum funkcji [kPa]
Klin prosty	8	0,5	480
		2,0	384
	12	0,5	370
		2,0	275
Symetryczny klin ukośny	8	0,5	448
		2,0	370
	12	0,5	349
		2,0	298

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski, które są słuszne dla przyjętego zakresu badań i występującej w ich trakcie zmienności warunków glebowych:

1. Wzrost związłości gleby powoduje początkowo spadek, a następnie wzrost wartości pionowych sił zagłębiających narzędzie, co można opisać równaniem paraboli stopnia drugiego, niezależnie od kształtu narzędzia oraz prędkości i głębokości skrawania.
2. Dla analogicznych parametrów skrawania, większe wartości pionowych sił zagłębiających oraz większe ich gradienty przy wzroście związłości gleby zaobserwowano dla symetrycznego klina ukośnego w porównaniu z klinem prostym.
3. Wzrostowi prędkości i głębokości skrawania towarzyszy na ogół wzrost intensywności zmian siły pionowej wraz ze wzrostem związłości gleby.
4. Siły pionowe wygłębiające narzędzie występują jedynie w przypadku niższej głębokości skrawania (8 cm) w zakresie związłości od około 250 do około 600 kPa, niezależnie od prędkości skrawania i kształtu narzędzia.
5. Związłości, przy których można się spodziewać najmniejszych sił zagłębiających narzędzie, maleją przy wzroście głębokości i prędkości skrawania i są nieznacznie mniejsze w przypadku skrawania symetrycznym klinem ukośnym niż klinem prostym.
6. Ponieważ główną przyczyną powstawania składowej wygłębiającej narzędzie są skierowane ku górze opory przecinania gleby, to stwierdzone mniejsze wartości sił zagłębiających klin prosty można wytłumaczyć większymi oporami przecinania gleby przez jego krawędź tnącą, której kąt przystawienia jest większy w porównaniu z symetrycznym klinem ukośnym.

## Bibliografia

- Lejman K.** 2006. Siły pionowe działające na narzędzia o kształcie klina prostego i symetrycznego klina ukośnego. *Inżynieria Rolnicza* Nr 3(78). s. 233-239.
- Lejman K., Owsiak Z.** 1996. Analiza sił pionowych działających na lemiesz obsypnika. *ZN AR we Wrocławiu. Mechanizacja Rolnictwa IV*. s. 302, 67-73.
- Lejman K., Owsiak Z.** 1993. Badania testacyjne stanowiska do pomiaru sił działających na narzędzia pracujące w glebie. *Roczniki Nauk Rolniczych t. 79-C-4*. s. 107-112.
- McKyes E., Ali O. S.** 1977. The cutting of soil by narrow blades. *J. Terramechanics*. Vol. 14. No. 2. s. 43-58.
- Swick W. C., Perumpral J. V.** 1988. A model for predicting soil - tool interaction. *J. Terramechanics*. Vol. 25. s. 43-56.
- 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. s. 243-250.

## **INFLUENCE OF SOIL CONE INDEX ON VERTICAL FORCES ACTING ON THE CULTIVATOR TOOLS**

**Abstract.** Results of investigations on vertical soil forces acting on wedge shape and skew wedge shape soil cutting tools are presented. Research was conducted in field conditions in sandy loam soil of 10,8 to 12,2% moisture. It has been found that course of vertical forces as a soil cone index function is non-monotonic. That course can be described by parabola (quadratic) equation independent of tool shape, cutting depth and cutting speed. Higher values of sink forces and higher their gradients as a result of cone index increase were observed in higher cutting depth and speed. It was found that higher values and higher change intensity of sink forces occur for skew wedge shape tools in comparison with wedge-shape tools.

**Key words:** cutting of soil, vertical forces, soil cone index

**Adres korespondencyjny:**

Krzysztof Lejman; e-mail lejman@imr.ar.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław