

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH GLEBY LEKKIEJ NA JEJ OPORY SKRAWANIA ZĘBAMI KULTYWATORA

Krzysztof Lejman, Zygmunt Owsiak, Antoni Szewczyk

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań wpływu zwięzłości i wytrzymałości na ścinanie gleby gliniastej lekkiej na wartości oporów skrawania sprężynowym zębem kultywatora z uwzględnieniem zmian głębokości i prędkości skrawania. Badania przeprowadzono w warunkach polowych. Stwierdzono, że wzrost głębokości skrawania gleby zębami kultywatora powoduje potęgowy przyrost oporu. Wzrost wytrzymałości gleby na ścinanie oraz wzrost jej zwięzłości powodują wykładniczy przyrost oporów skrawania, przy czym wartości współczynników wykładników równań są stałe dla tych samych prędkości skrawania i rosną przy wzroście głębokości pracy.

Słowa kluczowe: gleba, opór skrawania, sprężynowy ząb kultywatora

Wstęp

Uprawa gleby i jej doprawianie były i są najbardziej energochłonnymi zabiegami występującymi w polowej produkcji rolniczej. Jednym z podstawowych narzędzi stosowanych w technologiach uprawy gleby jest kultywator. Zainteresowanie tym narzędziem ze strony producentów rolnych i wytwórców rośnie w ostatnich latach, co jest wynikiem obserwowanych tendencji do zmniejszania energochłonności i pracochłonności poprzez wprowadzanie uproszczonych technologii uprawy gleby [Chen i in. 2005, Talarczyk i Zbytek 2006]. Znajduje to również odzwierciedlenie we wzroście intensyfikacji badań dotyczących efektów agrotechnicznych i energochłonności zabiegów w technologiach wykorzystujących kultywator [Przybył i in. 2009, Šařec i Šařec 2003, Sahu i Raheman 2006, Talarczyk i Zbytek 2006, Zbytek 2010].

Opór roboczy narzędzia jest najważniejszym czynnikiem determinującym energochłonność wykonywanego nim zabiegu. Stwarza to konieczność poszukiwania metod pozwalających na prognozowanie przewidywanych wartości oporu. Stosowanie do tego celu istniejących modeli teoretycznych [Godwin 2007, Godwin i Spoor 1977, Worona 1980] jest bardzo utrudnione, ponieważ wymaga wyznaczenia wielu parametrów fizycznych gleby, takich jak spójność, adhezja, kąty tarcia wewnętrznego i zewnętrznego, gęstość objętościowa, kąt poślizgu skiby itp. Ponadto parametry te nie uwzględniają chwilowej charakterystyki gleby oraz jej zmienności w profilu glebowym, która jest efektem naturalnych procesów zachodzących w glebie oraz wynikiem oddziaływania sił zewnętrznych. Przedstawione fakty zdecydowanie zmniejszają predykcyjność modeli analitycznych i stwarzają

konieczność stosowania do opisu gleby parametrów wskaźnikowych oraz poszukiwania zależności pomiędzy tymi parametrami i wartością oporu na drodze empirycznej.

Celem pracy było wyznaczenie wpływu głębokości pracy oraz zwięzłości i wytrzymałości na ścinanie gleby gliniastej lekkiej na wartości oporów skrawania sprężynowym zębem kultywatora z uwzględnieniem zmian prędkości skrawania.

Zakres, metody i warunki badań

Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glebie gliniastej lekkiej (piasek – 54%, pył – 13%, il – 33%). Wilgotność wagowa gleby zmieniała się w zakresie od 10,8 do 12,2%. Przed przystąpieniem do badań przeprowadzono głębokie spulchnianie gleby globogryzarką, a następnie stopniowe zagęszczanie wałem croskill-cambridge, dzięki czemu uzyskano cztery poziomy zagęszczenia. Średnie wartości parametrów gleby oraz odchylenia standardowe pomiarów (podane w nawiasach) dla kolejnych poziomów zagęszczenia (I – IV) przedstawiono w tabeli 1, przy czym gęstość traktowano jako parametr opisujący stan gleby.

Tabela 1. Parametry gleby dla kolejnych poziomów zagęszczenia
Table 1. Soil parameters for subsequent density levels

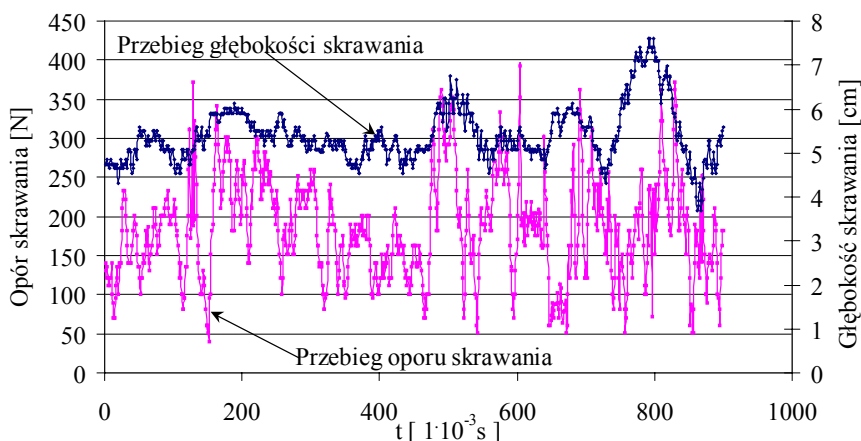
Poziom zagęszczenia	Zwięzłość [kPa]	Wytrzymałość na ścinanie [kPa]	Gęstość objętościowa [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
I	585 (43)	27 (8)	1,50 (0,03)
II	750 (79)	37 (5)	1,64 (0,02)
III	820 (121)	48 (10)	1,75 (0,03)
IV	930 (96)	63 (7)	1,85 (0,04)

Źródło: opracowanie własne

Zwięzłość mierzono stosując zwięzłościomierz z napędem mechanicznym wyposażony w sondę stożkową o kącie wierzchołkowym 60° i polu podstawy 3 cm^2 . Prędkość zagłębiania sondy wynosiła $3\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Wytrzymałość na ścinanie mierzono sondą skrzydełkową VANE H-60. Gęstość objętościową gleby wyznaczano przy użyciu cylinderków o objętości 100 cm^3 , a jej wilgotność mierzono wagosuszarką WPE 300S. Wszystkie parametry wyznaczano w ośmiu powtórzeniach.

Siły działające na ząb kultywatora i chwilowe głębokości pracy mierzono przy użyciu stanowiska, którego budowę przedstawiono w pracy Owsiaaka i in. [2006]. W tej samej pracy opisano również metodykę synchronizowania w czasie zarejestrowanych wartości sił z odpowiadającymi im głębokościami skrawania, co było podyktowane liniowym przesunięciem koła czujnikowego względem narzędzia. Dla każdego poziomu zagęszczenia dokonywano pomiarów przy prędkościach skrawania 1 i $3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Założono, że badania zostaną przeprowadzone przy dwóch głębokościach – 6 i 12 cm. Ponieważ zarejestrowane głębokości odbiegały od założonych, to przy analizie wyników uwzględniano faktyczne ich wartości, które zarejestrowano w trakcie pomiarów. Przykładowe przebiegi chwilowych wartości oporu skrawania i głębokości pracy przedstawiono na rys. 1. Dla każdej kombina-

cji prędkości, głębokości i poziomu zagęszczenia mierzono siły w czterech powtórzeniach. Błąd pomiaru oporu skrawania nie przekraczał 5 N.



Rys. 1. Przykładowy przebieg w czasie (t) chwilowych wartości oporu skrawania i głębokości dla założonej głębokości skrawania 6 cm i prędkości skrawania $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

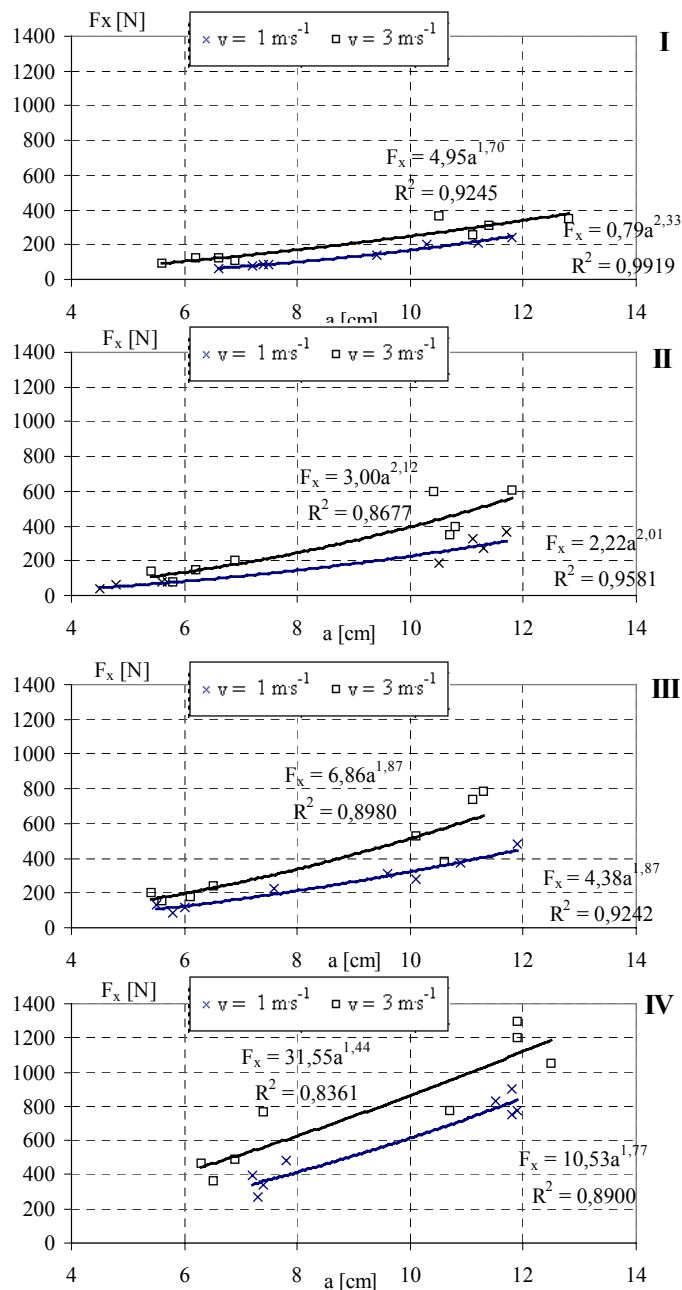
Fig. 1. Exemplary course in time (t) of temporary values of cutting resistance and depths for assumed cutting depth 6 cm and the cutting speed $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Obiektem badań był esowy ząb sprężynowy kultywatora z redliczką o szerokości 45 mm, promieniu krzywizny 170 mm i początkowym kącie wzniosu wynoszącym 40° . Wyznaczony w warunkach statycznych współczynnik sprężystości zęba wynosił $0,06 \text{ m kN}^{-1}$.

Statystyczne opracowanie wyników badań oparto na analizie korelacji i regresji oraz testach do porównywania przebiegów funkcji. Testy statystyczne przeprowadzono dla poziomu prawdopodobieństwa $\alpha=0,05$.

Wyniki badań

Wpływ głębokości na wartość oporu skrawania gleby gliniastej lekkiej sprężynowym zębem kultywatora opisano równaniem potęgowym niezależnie od poziomu zagęszczenia gleby i prędkości skrawania (rys. 2). Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono, że opór rośnie wraz ze wzrostem głębokości skrawania, przy czym intensywność przyrostu oporu rośnie wraz ze wzrostem poziomu zagęszczenia. Gradient oporu jest również wyższy przy prędkości $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w porównaniu z prędkością $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wzrost głębokości skrawania z 6 do 12 cm przy prędkości $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ powoduje, dla kolejnych poziomów zagęszczenia (I-IV), przyrosty oporu wynoszące odpowiednio 235, 450, 520 i 715 N. Przy prędkości $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ przyrosty te są nieznacznie niższe. Przedstawione tendencje znajdują swoje odzwierciedlenie w wartościach współczynników równań oraz wykładników, przy czym, dla analogicznych prędkości skrawania, można zauważyć ogólną tendencję do wzrostu wartości

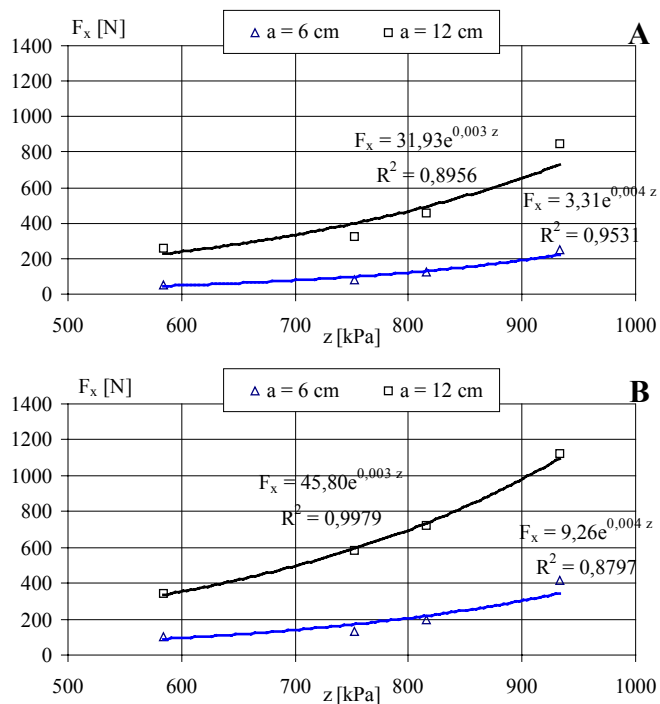


Rys 2. Zależność wartości oporu skrawania (F_x) od głębokości (a) przy zmiennych poziomach zagęszczenia (I-IV) i zmiennych prędkościach (v)

Fig. 2. Dependence of cutting resistance values (F_x) on depth (a) with variable levels of density (I-IV) and variable speeds (v)

współczynnika równania oraz spadku wartości wykładnika przy wzroście poziomu zagęszczenia gleby. Stwierdzono, że dla przyjętego poziomu prawdopodobieństwa przy sześciu stopniach swobody współczynniki korelacji przedstawionych zależności regresyjnych są istotne.

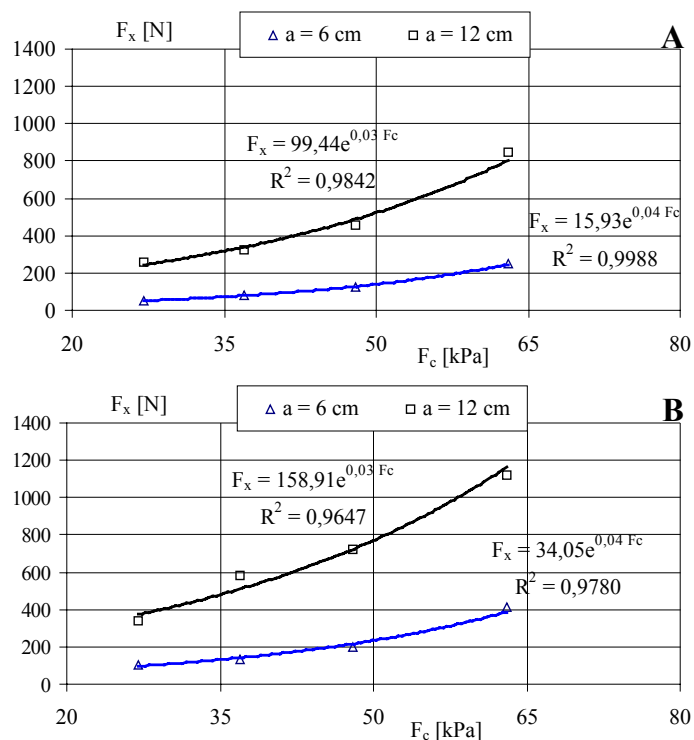
Wpływ zwięzłości i wytrzymałości gleby na ścinanie na wartość oporu przedstawiono odpowiednio na rys. 3 i 4. Przedstawienie tych przebiegów dla stałych wartości głębokości (6 i 12 cm) było możliwe dzięki obliczeniu wartości oporu dla tych głębokości na podstawie przedstawionych wcześniej (rys. 2) równań regresji. Zarówno wzrost wytrzymałości na ścinanie, jak i zwięzłości gleby, powodują wzrost wartości oporu, co można opisać równaniem wykładniczym, przy czym stwierdzono, że przy dwóch stopniach swobody wszystkie przedstawione zależności mają istotne korelacje dla przyjętego poziomu prawdopodobieństwa. Istotne korelacje przy niskiej liczbie stopni swobody sugerują, że zwięzłość i wytrzymałość na ścinanie są parametrami poprawnie opisującymi stan gleby w równaniach predykcji oporu.



Rys. 3. Zależność oporu skrawania (F_x) od zwięzłości (z) na przy zmiennych głębokościach (a) i prędkościach $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (A) oraz $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (B)

Fig. 3. Dependence of the cutting resistance (F_x) on firmness (z) with variable depths (a) and speeds $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (A) oraz $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (B)

Zarówno wzrost prędkości z 1 do 3 m·s⁻¹, jak i wzrost głębokości z 6 do 12 cm, powodują wzrost intensywności przyrostu oporu przy wzroście zwięzłości i wytrzymałości na ścinanie, przy czym wzrost ten jest wyraźniejszy przy zmianie głębokości. Analizując przedstawione równania można zauważyć, że współczynniki wykładników funkcji są takie same przy tych samych głębokościach pracy, dla analogicznych prędkości skrawania, niezależnie od tego, czy zmienną objaśniającą jest zwięzłość, czy też wytrzymałość na ścinanie.



Rys. 4. Zależność oporu skrawania (F_x) od wytrzymałości na ścinanie (F_c) przy zmiennych głębokościach (a) i prędkościach 1 m·s⁻¹ (A) oraz 3 m·s⁻¹ (B)

Fig. 4. Dependence of the cutting resistance (F_x) on cutting endurance (F_c) with variable depths (a) and speeds 1 m·s⁻¹ (A) and 3 m·s⁻¹ (B)

Analizując uzyskane wartości współczynników determinacji stwierdzono, że średnia wartość tego współczynnika (0,9906) jest wyższa dla równań opisujących przebieg oporu w funkcji wytrzymałości na ścinanie w porównaniu ze średnią wartością współczynnika determinacji (0,9316) dla równań, w których zmienną decyzyjną jest zwięzłość.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski odnoszące się do przyjętego zakresu badań.

Wnioski

1. Wzrost głębokości skrawania gleby lekkiej zębami kultywatora powoduje wzrost oporów skrawania, przy czym zależność tę można opisać funkcją potęgową.
2. Gradienty oporu, obserwowane przy wzroście głębokości skrawania, rosną wraz ze wzrostem poziomu zagęszczenia gleby oraz wzrostem prędkości skrawania.
3. Wzrost wytrzymałości gleby na ścinanie oraz wzrost jej zwięzłości powodują wykładniczy przyrost oporów skrawania, przy czym wartości współczynników wykładników równań są stałe dla tych samych prędkości skrawania i rosną przy wzroście głębokości pracy.
4. Zwięzłość i wytrzymałość na ścinanie są parametrami poprawnie opisującymi stan gleby w równaniach predykcji oporu, ponieważ, pomimo niskiej liczby stopni swobody, występują istotne korelacje.

Bibliografia

- Chen Y., Cavers C., Tessier S., Monero F., Lobb D.** 2005. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research*. Vol. 82 (2). s. 161-171.
- Godwin R. J.** 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*. Vol. 97 (2). s. 331-340.
- Godwin R. J., Spoor G.** 1977. Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 22 (3). s. 213-228.
- Owsiak Z., Lejman K., Wołoszyn M.** 2006. Wpływ zmienności głębokości pracy narzędzia na opory skrawania gleby. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4(79). s. 45-53.
- Przybył J., Kowalik I., Dach J., Zbytek Z.** 2009. Analiza jakości pracy agregatów do uprawy przedsiębiernej. *Journal of Research and Application in Agriculture Engineering*. Vol. 54(4). s. 62-68
- Sahu R. K., Raheman H.** 2006. An approach for draft prediction of combination tillage implements in sandy clay loam soil. *Soil and Tillage Research*, Vol. 90 (1-2). s. 145-155.
- Šařec O., Šařec P.** 2003. Ocena efektów pracy brony talerzowej i kultywatora podorywkowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10(52). s. 255-261.
- Talarczyk W., Zbytek Z.** 2006. Wpływ głębokości roboczej agregatu do bezorkowej uprawy gleby na obciążenia eksploatacyjne. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4(79). s. 303-312.
- Worona M.** 1980. Analysis of the soil cutting process with narrow tools of agricultural implements. *Rozprawy, Akademia Rolnicza w Szczecinie*.
- Zbytek Z.** 2010. Wpływ stosowania różnych elementów roboczych na obciążenia eksploatacyjne maszyn do uprawy dwuwarstwowej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 55(1). s. 117-119.

INFLUENCE OF SELECTED COMPRESSION PARAMETERS OF LIGHT SOIL ON ITS RESISTANCE AGAINST CULTIVATOR TINES CUTTING

Abstract. The study presents experimental results of influence of firmness and endurance on shearing loamy light soil on the values of resistance against cutting by a spring-tine cultivator, considering depth changes and cutting speed. The research was conducted in the field conditions. It was determined that the increase of cutting depth of soil by cultivator tines causes power growth of resistance. Increase of soil endurance on cutting and increase of its firmness results in the exponential increase of cutting resistance while the values of coefficients of equations exponents are fixed for the same cutting speed and they rise with the increase of the work depth.

Key words: soil, cutting resistance, spring cutting -tine

Adres do korespondencji:

Zygmunt Owsiak: e-mail: zygmunt.owsiak@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław