

WPŁYW USTAWIENIA KORPUSÓW W PŁUGU WAHADŁOWYM NA OPÓR ROBOCZY I JAKOŚĆ PRACY

Edmund Kamiński

*Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie*

Piotr Grudnik

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu kątów ustawienia korpusów pługa wahadłowego (kąta kruszenia – α i kąta skrawania – γ) i prędkości orki na parametry optymalizacji, którymi były: Y_1 – opór jednostkowy narzędzia (R_x/hb , $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$, gdzie h – głębokość orki, b – szerokość robocza korpusu pługa) i Y_2 – stopień przykrycia resztek roślinnych (D , %). Badania przeprowadzono zgodnie z zasadą matematycznego planowania eksperymentów drugiego rzędu dla trzech parametrów. Opory jednostkowe orki zależą głównie od kąta skrawania korpusu i prędkości roboczej agregatu z nieliniową charakterystyką zależności. Stopień przykrycia resztek roślinnych zależy od kąta skrawania korpusu i prędkości ruchu agregatu, z nieliniową charakterystyką zależności, od kąta ustawienia, z nieliniową charakterystyką zależności, od wzajemnego wpływu kąta skrawania, kąta ustawienia i prędkości jazdy agregatu. Podczas badań laboratoryjno-polowych stwierdzono, że najmniejsze opory jednostkowe wynoszą $41,06 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ przy kącie ustawienia nośnicy z korpusami wynoszącym $38^\circ 59'$, kącie skrawania lemieszki wynoszącym $33^\circ 28'$ i prędkości roboczej $1,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Słowa kluczowe: maszyny rolnicze, pługi, uprawa gleby

Wprowadzenie

Do orki bezzagonowej powszechnie stosuje się pługi obracalne. Do głównych zalet tych pługów należą znaczne uproszczenie czynności wykonywanych na polu przed rozpoczęciem orki oraz możliwość uzyskania lepszych wartości wskaźników jakości pracy i eksploatacyjnych. Wykonanie orki płaskiej, bez bruzd, umożliwiają również pługi wahadłowe, zwane wychylnymi, przestawialnymi, zwrotnymi, obrotowymi [Gruber 1993; Macepuro 1996]. W przeciwieństwie do pługów obracalnych, pługi wahadłowe charakteryzują się zwartą i trwałą konstrukcją, mają tylko jeden zestaw korpusów płużnych i nie zawierają skomplikowanego mechanizmu obrotu. W pługach tych zastosowano korpusy z dwustronnymi lemieszami i cylindrycznymi odkładnicami, które dzięki swojej budowie mogą odkładać skiby na prawo lub lewo [Weise, Grosse 1993]. Odkładnice są znacznie skrócone w porównaniu z klasycznymi. Skrócona odkładnica nie prowadzi skiby aż do całkowitego

odwrócenia, lecz nadaje jej rozpęd [Lange 1992] niezbędny do odwrócenia. Podstawowym parametrem oceny energetycznej pługa jest opór jednostkowy, zaś jakość jego pracy ocenia się za pomocą takich wskaźników jak: nierównomierność głębokości i szerokości orki, przykrycie resztek roślinnych. Jak wynika z badań [Blendych, Chudjakow 1989; Buliński i in. 1986; Klonowski, Kuczewski 1996; Miszczak i in. 2000, Miszczak, Waszkiewicz 1987; Plouffe 1995; Ptaszyński 2001; Waszkiewicz, Kotecki 1987; Viselga, Kamiński 2001; Yavuzcan i in. 1998], duży wpływ na wartości oporów i jakości pracy pługa mają charakterystyczne cechy budowy korpusów płuznych, związane z wymiarami, kształtem i ustawieniem powierzchni roboczej korpusu oraz prędkość orki.

Cel badań

Celem badań było określenie wpływu kątów ustawienia korpusów pługa wahadłowego (kąta ustawienia – α i kąta skrawania – γ) i prędkości orki na parametry optymalizacji, którymi były opór jednostkowy orki, nierównomierność szerokości i głębokości orki oraz przykrycie resztek roślinnych.

Warunki przeprowadzenia badań

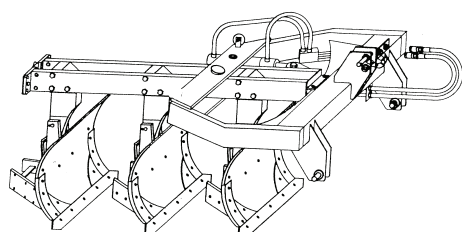
Badania laboratoryjne jedno-korpusowego pługa wahadłowego przeprowadzono w kanale glebowym (glina lekka, zwięzłość w warstwie uprawnej 1,4 MPa, wilgotność 11%) w IBMER Oddział Kłudzienko na odpowiednio przygotowanym stanowisku badawczym.

Badania laboratoryjno-polowe przeprowadzono na polach IBMER Oddział w Kłudzienku. Typ gleby – czarnoziem błoński; zwięzłość gleby w warstwie uprawnej – 1,4 do 1,8 Mpa; wilgotność gleby w warstwie ornej – 13 do 15%; powierzchnia pola – 4 ha; pole – ściernisko po gorczycy o wysokości do 60 cm; długość pola – 450 m.

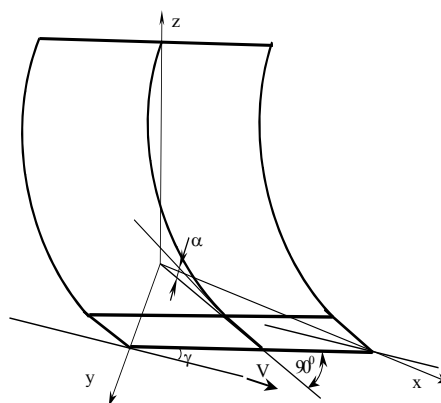
Metodyka badań

Badania prowadzono według obowiązującej w Polsce metodyki badań pługów. Do pomiarów używano aparatury posiadającej ważne badania legalizacyjne. Eksperymenty prowadzono z wykorzystaniem pługa (rys. 1), posiadającego możliwość regulacji ustawienia korpusów, tj. kąta ustawienia i kąta skrawania (rys. 2). Zakres zmienności badanych wielkości podano w tabelach 1 i 2.

Zakres zmienności zmiennych niezależnych tj. kątów ustawienia i skrawania w badaniach laboratoryjnych wynikał z przeprowadzonej na wstępie analizy wielkości tych kątów stosowanych w pługach wahadłowych, zaś zakres zmian prędkości wózka pomiarowego, wynikał z możliwych przełożeń i mocy napędowej silnika elektrycznego



Rys. 1. Doświadczalny pług wahadłowy
Fig. 1. Experimental plough body



Rys. 2. Ustawienie korpusu
Fig. 2. Adjustment of a plough

Tabela 1. Zakres zmienności kątów ustawienia korpusów i prędkości roboczej w badaniach laboratoryjnych

Table 1. Variation range of adjustment angles of plough bodies and the working speed

Parametry	Zakres zmienności			Skok
	-1	0	+1	
Kąt ustawienia – α , stop., X_1	30	37,5	45	7,5
Kąt skrawania – γ , stop., X_2	30	37	44	7,0
Prędkość robocza – V , $m \cdot s^{-1}$, X_3	1,5	2,05	2,60	0,55

Tabela 2. Zakres zmienności kątów ustawienia korpusów i prędkości roboczej w badaniach laboratoryjno-polowych

Table 2. Variation range of adjustment angles of plough bodies and the working speed

Parametry	Zakres zmienności			Skok
	-1	0	+1	
Kąt ustawienia – α , stop., X_1	29	36	43	7,0
Kąt skrawania – γ , stop., X_2	27	33,5	40	6,5
Prędkość robocza – V , $m \cdot s^{-1}$, X_3	1,4	2,1	2,8	0,7

Zakres zmienności zmiennych niezależnych dla badań laboratoryjno-polowych ustalono w oparciu o uzyskane wyniki z badań stanowiskowych i możliwości zmian konstrukcyjnych pługa.

Najkorzystniejsze wartości parametrów ustawienia korpusów płuznych w pługu wahadłowym uzyskane z badań laboratoryjno-polowych, pod względem energetycznym i jakości pracy, zostały zastosowane w badaniach polowych porównawczych tj. z pługiem wahadłowym w ustawieniu fabrycznym korpusów oraz z pługiem obracalnym.

Przebieg i wyniki badań

Badania laboratoryjne

Poszczególne przejazdy robocze wykonywano po uprzednim przygotowaniu gleby. Podczas kolejnego przygotowania gleby dążono do odtworzenia warunków glebowych panujących przed pomiarem (taka sama zwięzłość i wilgotność). Zachowanie stałej nastawionej głębokości i szerokości orki oraz dokładny pomiar siły uciągu przy określonej stałej prędkości, pozwalał na uzyskanie dużej dokładności wyników pomiarów. Błąd względny przy obliczeniu oporu jednostkowego wynosił około 10%.

Wcześniej przeprowadzono analizę powtarzalności wyników dotyczących oporu jednostkowego. Wykonano ją weryfikując, za pomocą testu t-Studenta, hipotezę statystyczną: średnie wartości prób w poszczególnych powtórzeniach są różne. Parametry ustawienia korpusu płuznego w funkcji prędkości roboczej prób do analizy powtarzalności dla poszczególnych wariantów, wybrane zostały losowo, zgodnie z zakresem zmienności z wcześniej sporządzoną macierzą parametrów zmiennych niezależnych (x_1, x_2, x_3).

Ogółem wykonano 15 eksperymentów w 4 powtórzeniach. Zgodnie z metodyką badań i ustaleniami dotyczącymi zakres zmian badanych parametrów i ich kodowania, została sporządzona macierz parametrów zmiennych niezależnych (x_1, x_2, x_3) i uzyskano odpowiednie wartości oporów jednostkowych.

Następnie eksperyment poddano analizie statystycznej, mającej na celu ukazanie zależności regresyjnych, jakie zachodzą między zmiennymi badanymi (x_1, x_2, x_3), które mają wpływ na opór jednostkowy korpusu płuznego. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu otrzymano równania regresji (w kodowanej postaci) opisujące badany proces,

$$y_1 = 58,802 + 1,8977 x_1 + 2,3339 x_2 + 4,3608 x_3 - 0,9568 x_1 x_2 + 0,8555 x_1 x_3 + 1,2696 x_2 \cdot x_3 + 4,9958 (x_1)^2 + 1,7096 (x_2)^2 + 1,9627 (x_3)^2 + 1,6206 x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Z otrzymanego równania wynika, że ustawienie korpusu symetrycznego jest optymalne, ze względu na minimum oporu jednostkowego wynoszącego 56,02 (kN·m⁻²), przy następujących wartościach kątów ustawienia korpusów i prędkości roboczej pługa wahadłowego jedno-korpusowego:

$$x_1 (\alpha) = -0,2350 (32^\circ 35'), x_2 (\gamma) = 0,5036 (31^\circ 30'), x_3 (v) = -0,9453 (1,52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}).$$

Dla $x_1 = -0,23$ funkcja przyjmuje postać:

$$y_1 = 58,63 + 2,56 x_2 + 4,16 x_3 + 0,89 x_2 x_3 + 1,71 x_2^2 + 1,96 x_3^2$$

$$y_1 \text{ min. } (x_2 = -0,50, x_3 = -0,95) = 56,02$$

$$y_1 \text{ max. } (x_2 = 1,00, x_3 = 1,00) = 69,91$$

Równoległe z pomiarami energetycznymi jedno-korpusowego pługa wahadłowego dokonano oceny nierównomierności szerokości i głębokości orki. Wskaźnik nierównomierności głębokości orki wynosił od 4,39 do 8,83%, przy głębokości średniej 20 cm, zaś wskaźnik nierównomierności szerokości od 3,38 do 9,63%. Jakość orki była najlepsza przy następujących wartościach parametrów: x_1 (α) = 0,96 (44° 30'), x_2 (γ) = 0,0 (37° 30'), przy prędkości 2,05 m·s⁻¹ – co nie koreluje z ustawieniem pod względem najmniejszego oporu jednostkowego. Eksperyment zweryfikowano w warunkach polowych.

Badania laboratoryjno-polowe

Pomiary wykonano, podobnie jak w badaniach laboratoryjnych, weryfikując za pomocą testu t-Studenta, hipotezę statystyczną: średnie (teoretyczne rozkładów normalnych) prób w poszczególnych powtórzeniach są równe (opór jednostkowy, przykrycie resztek roślinnych nierównomierność głębokości i szerokości orki). Parametry ustawienia korpusów płuznych w funkcji prędkości do analizy powtarzalności dla poszczególnych wariantów eksperymentu, wybrane zostały w sposób losowy, zgodnie z zakresem zmienności. Analizę wykonano dla trzech wariantów eksperymentu na początku badań zgodnie z zakresem zmian i sporządzoną macierzą parametrów zmiennych niezależnych:

Ogółem wykonano 15 eksperymentów w czterech powtórzeniach dla prawego i lewego wychylenia nośnicy z korpusami. Eksperyment poddano analizie statystycznej, mającej na celu ukazanie zależności regresyjnych jakie zachodzą między zmiennymi badanymi niezależnymi (x_1 , x_2 , x_3), które mają wpływ na opór jednostkowy oraz jakość pracy pługa.

Na podstawie pomiarów siły uciągu, przekroju skib i prędkości roboczej został wyliczony opór jednostkowy, który jest następującą funkcją korelacyjną badanych wielkości:

$$y_2 = 51,8797 - 8,7937 x_1 + 1,4522 x_2 + 6,7871 x_3 - 1,7366 x_1 \cdot x_2 + 0,2830 x_1 \cdot x_3 - 0,2625 x_2 \cdot x_3 + 0,8795 x_1 x_2 x_3 + 10,5631(x_1)^2 - 1,5491 \cdot (x_3)^2$$

Najmniejsza wartość oporu jednostkowego odpowiada następującym wartościom zmiennych: $\alpha = 39^\circ$, $\gamma = 33^\circ 30'$, $v = 1,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

W rezultacie przeprowadzonych badań laboratoryjno – polowych otrzymano równania regresji na opory jednostkowe, które dla $x_1 = 0,43$ przyjmuje postać:

$$Y_3 = 50,05 + 0,71 x_2 + 6,91 x_3 + 0,11 x_2 x_3 + 9,99 x_2 x_2 - 1,55 x_3 x_3$$

$$y_t \text{ min. } (x_2 = -0,03, x_3 = -1,00) = 41,58$$

$$y_t \text{ max. } (x_2 = 1,00, x_3 = 1,00) = 66,23$$

Jakość pracy pługa wahadłowego.

Wskaźnik nierównomierności głębokości orki wynosił w granicach 5,65 – 11,47%, zaś szerokości od 3,67 – 8,34% jako średnia ważona dla przejazdów kontrolnych tam i z powrotem.

Najlepszą równomierność głębokości i szerokości orki uzyskał, przy następujących wartościach badanych parametrów: $\alpha = 29^\circ$; $\gamma = 33^\circ$; $v = 2,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Przykrycie resztek roślinnych

Na podstawie wykonanych eksperymentów i obliczeń uzyskano następujące równanie na stopień przykrycia resztek roślinnych:

$$P = 98,86 + 0,81 x_1 + 0,24 x_2 + 0,53 x_3 - 0,34 x_1 \cdot x_2 + 0,55 x_1 \cdot x_3 - 0,22 x_2 \cdot x_3 - 2,22 (x_1)^2 - 1,36 (x_2)^2 - 1,36 (x_3)^2 + 0,23 \cdot (x_3)^2 + 0,64 x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Optymalną wartością przykrycia resztek roślinnych było $P = 99,8258$, uzyskane przy $x_1 (\alpha) = 0,310 (38^\circ 10')$, $x_2 (\gamma) = 0,04 (33^\circ 33')$, $x_3 (v) = 1,000 (2,80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$. Dla $x_1 = 0,31$ równanie powyższe przyjmie postać:

$$P = 98,90 + 0,14 x_2 + 0,70 x_3 - 0,0,2 x_2 x_3 - 1,36 x_2 x_2 + 0,23 x_3 x_3$$

$$P_{\min} (x_2 = -1,00 \quad x_3 = -1,00) = 96,90$$

$$P_{\max} (x_2 = 0,04 \quad x_3 = 1,00) = 99,83$$

Wnioski

1. Opory jednostkowe orki zależą głównie od kąta skrawania korpusu i prędkości roboczej agregatu z nieliniową charakterystyką zależności.
2. Stopień przykrycia resztek roślinnych zależy od kąta skrawania korpusu i prędkości ruchu agregatu, z nieliniową charakterystyką zależności, od kąta ustawienia, z nieliniową charakterystyką zależności, od wzajemnego wpływu kąta skrawania, kąta ustawienia i prędkości jazdy agregatu.
3. Podczas badań laboratoryjno-półowych stwierdzono, że najmniejsze opory jednostkowe wynoszą $41,06 \text{ kN/m}^2$ przy kącie ustawienia nośnicy z korpusami wynoszącym $38^\circ 59'$, kącie skrawania lemieszki wynoszącym $33^\circ 28'$ i prędkości roboczej $1,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
4. Badania laboratoryjno-półowe pługa potwierdziły wyniki dotyczące oporów i jakości pracy uzyskane w badaniach laboratoryjnych.

Bibliografia

- Blendych W.W., Chudjakow S.J.** 1989. Matematyczeskaja model raboczej powierchnosti korpusa pluga. Technika w Sielskom Choziajstwie. Nr 2, s. 6-7.
- Buliński J., Lisowski A., Waszkiewicz Cz.** 1986. Badania nad wpływem parametrów konstrukcyjnych korpusu płuznego na wielkości uzyskiwanych wskaźników pracy agregatu. Rocznik Nauk Rolniczych, 77 c-3 s. 173-181.
- Große K.** 1995: Zugwiderstände von Schwenkpflügen. Landtechnik. Nr 4, s. 237-238.
- Klonowski J., Kuczewski J.** 1996. Analiza oporu roboczego narzędzia szerokiego o walcowej powierzchni roboczej. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1, s. 13-18.
- Krasowskij G.J., Filaretow G.F.** 1982: Planowanie eksperymentu Mińsk ss. 224.
- Lenge R.** 1992. Löst der Schwingpflug den Drehpflugabab Top Agrar. Nr 3 s. 122-124.
- Macepuro W.M.** 1996. Nowyje konstrukcji nawiesznych plugow dlia gładkoj wspanzki. Traktory i sielskochoziajstwiennyje masziny. Nr 4, s. 11-12.

- Miszcza M., Waszkiewicz Cz.** 1987. Wpływ rodzaju odkładnic na opory orki. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*. Nr 7, s. 7-8.
- Miszcza M., Bialek J., Alborski M.** 2000. Opór roboczy różnych korpusów płużnych. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*. Nr 7, s. 5-6.
- Plouffe C., Melaughlin N., Tessier S., Laguë C.** 1995. Energy requirements and depth stability of two different moldboard plow bottoms in a heavy clay soil. *Can. Agricult. Eng.* Vol. 37. Nr 4, s. 279-285.
- Ptaszyński S., Mosz J., Józefowicz J.** 2001. Test pługów obracalnych. *TopAgrar*. Nr 2/2001, s. 88-91.
- Ptaszyński S.** 1991. Skrócone badania prototypu pługa dwustronnego z korpusami symetrycznymi. IBMER. Zakład Mechanizacji Uprawy gleby i Siewu. Warszawa. Nr 5, ss. 6.
- Waszkiewicz Cz., Kotecki L.** 1987. Wpływ rodzaju odkładnic na jakość orki. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*. Nr 9, s. 7-8.
- Weise G., Grosse K.** 1993. Schwenkpfluge genauer betrachtet, *Landtechnik*. Nr 1-2, s. 32-35.
- Viselga G., Kamiński J.** 2001. Sovremennye technologii obrabotki počvy. *Seliskochozjajstvennaja Technika*. Nr 1, s. 22-24.
- Yavuzcan G., Klonowski J., Majewski Z.** 1998. Inwvestigatins on working resistance of model plough bodies in the soil bin. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW*. Nr 33.

SETTINGS OF FRONT-MOUNTED PLOUGH BODIES AND THEIR EFFECT ON FUNCTIONAL EFFICIENCY

Summary. Research was aimed to define the effect of adjustment angles of plough bodies (crushing angle α and shearing angle γ) and ploughing speed on optimisation parameters, which were specific draft resistance and incorporation degree of harvested crop residues. Specific draft resistance depends primarily on the shearing angle of plough body and the working speed of tractor/implement system with the non-linear dependence profile. Incorporation degree of harvested crop residues depends on the shearing angle of plough body with non-linear dependence profile, on the crushing angle of plough body with non-linear dependence profile, on interrelation of the above angles, and on the working speed of tractor/implement system. Laboratory and field investigations have demonstrated that the smallest specific draft resistance was $41,06 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, when the frame-body angle was $38^{\circ} 59'$, the shearing angle was $33^{\circ} 28'$, and the working speed was $1,40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Key words: agricultural machines, ploughs, plant cultivation

Adres do korespondencji:

Edmund Kamiński: edmund_kaminski@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa