

OPÓR ROBOCZY PŁUGA WAHADŁOWEGO

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. Przeprowadzona analiza stanu wiedzy wykazała braki w zakresie badań nad wpływem ustawienia korpusów płużnych w pługu wahadłowym na energochłonność orki. Dla wypełnienia tej luki, przeprowadzone zostały badania laboratoryjne pługa wahadłowego jednokorpusowego w kanale glebowym, mające na celu określenie wpływu kątów ustawienia i skrawania lemiesza w funkcji prędkości roboczej na opór jednostkowy. W badaniach wykorzystano matematyczne planowanie eksperymentu drugiego rzędu dla trzech parametrów. Wyniki eksperymentu poddano analizie statystycznej, mającej na celu wykazanie zależności regresyjnych jakie zachodzą między badanymi zmiennymi. W wyniku otrzymano równania regresji (w kodowanej postaci) opisujące badany proces. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu stwierdzono najkorzystniejsze pod względem oporu jednostkowego kąty ustawienia korpusu symetrycznego w pługu wahadłowym jako funkcje prędkości orki. W wyniku badań laboratoryjnych stwierdzono, że najmniejszy opór jednostkowy wynosił $56,02 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, przy kącie ustawienia nośnicy z korpusem wynoszącym $35^{\circ}44'$, kącie skrawania lemiesza $33^{\circ}28'$ i prędkości orki $1,52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Słowa kluczowe: korpus symetryczny, pług wahadłowy, kąt ustawienia, kąt skrawania lemiesza, opór jednostkowy, uprawa gleby

Wprowadzenie

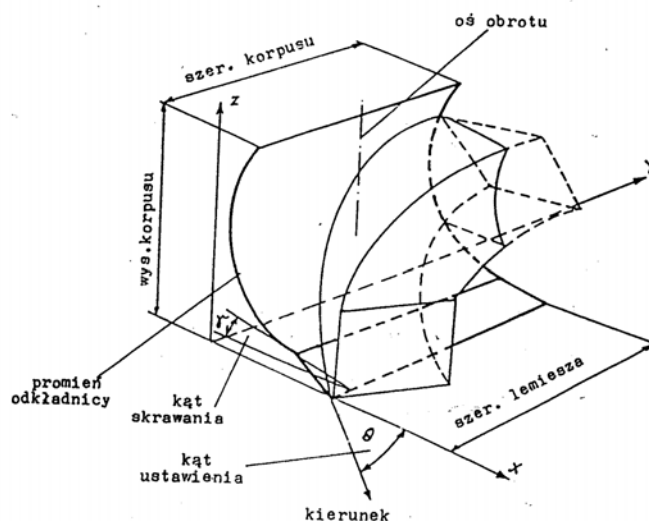
Podstawowym parametrem oceny energetycznej pługa jest opór jednostkowy. Jak wynika z badań [Blendych, Chudjakow 1989; Buliński i in. 1986; Klonowski, Kuczewski 1996; Miszczak i in. 2000; Plouffe 1995, Ptaszyński 2001; Yavuzcan, Klonowski, Majewski 1998], duży wpływ na wartość oporów i jakości pracy pługa mają charakterystyczne cechy budowy korpusów płużnych, związane z wymiarami, kształtem i ustawieniem powierzchni roboczej korpusu oraz prędkość orki.

Cel badań

Celem badań laboratoryjnych było określenie wpływu ustawienia korpusu płużnego w pługu jednoskorpusowym wahadłowym (kąta ustawienia lemiesza/nośnicy pługa – θ / θ_1 ;

kąta skrawania – γ i prędkości orki roboczej – v ,) na opór jednostkowy narzędzia oraz na nierównomierność szerokości i głębokości orki.

Ponadto celem pracy jest uzyskanie modeli matematycznych w postaci równań regresji opisujących wpływ podstawowych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych pługa wahadłowego na energochłonność wykonywanej pracy.



Rys. 1. Podstawowe wielkości charakteryzujące korpus symetryczny
Fig. 1. Basic dimensions characterising symmetrical frames

Warunki i metodyka badań

Dla zrealizowania postawionego celu przeprowadzono badania laboratoryjne pługa wahadłowego jednokorpusowego w kanale glebowym w IBMER Kłudzienko na odpowiednio przygotowanym stanowisku badawczym (rys. 2).

Przedmiotem badań był korpus symetryczny pługa wahadłowego U125/1, produkcji FMR Słupsk.

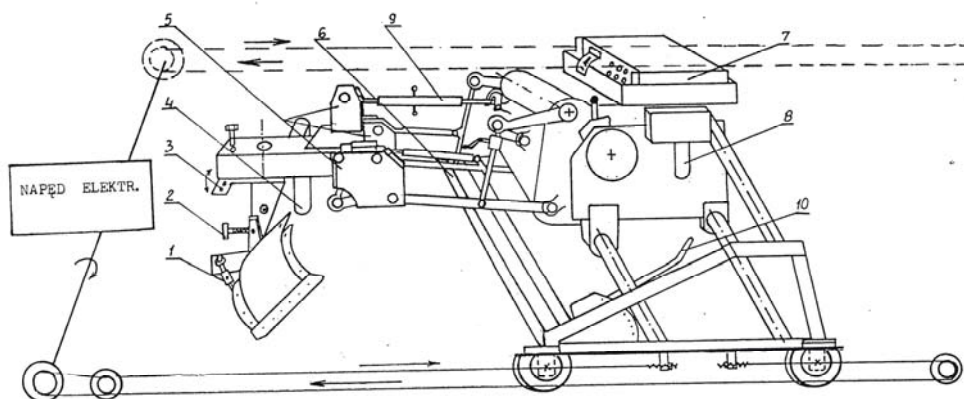
Kanał był wypełniony glebą, której skład mechaniczny, wyznaczony wg BN-76/9180-06 określa ją jako glinę lekką. Zwięzłość gleby w warstwie uprawnej wynosiła średnio 1,4 MPa, a wilgotność 11%. Głębokość robocza korpusu płużnego była stała i wynosiła 21 cm, natomiast szerokość robocza zależała od kąta ustawienia korpusu do kierunku ruchu i wynosiła od 30 do 40 cm. Do pomiarów używano aparatury posiadającej ważne badania legalizacyjne. W badaniach mierzono składową poziomą siły oporu działającego na pług za pomocą czujnika tensometrycznego. Czujnik ten współpracował ze wzmacniaczem pomiarowym i komputerowym zestawem do rejestracji wyników pomiarowych. Niektóre elementy metodyki uzupełniono o wcześniejsze badania pługów i korpusów płużnych prowadzone w IBMER [Ptaszyński 1991]. Pług użyty w badaniach posiadał możliwość regulacji

Opór roboczy pługa...

ustawienia korpusu, tj. kąta ustawienia, skrawania oraz płozu (rys.2). Zakres zmienności badanych wielkości w badaniach laboratoryjnych przedstawiał się następująco:

- kąt ustawienia nośnicy pługa / lemiesza θ_1 (30° - 45°); θ (60° - 45°);
- kąt przyłożenia (skrawania) lemiesza γ (30° - 44°);
- prędkość robocza v ($1,5$ - $2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Zakres zmian prędkości wózka pomiarowego wynikał z możliwych przełożeń i mocy napędowej silnika elektrycznego.



Rys. 14. Schemat stanowiska badawczego

- 1 - regulacja płozu; 2 - regulacja kąta skrawania lemiesza; 3 - regulacja kąta kierunkowego korpusu; 4 - czujnik głębokości orki;
5 - przetworniki tensometryczne; 6 - płozę wyrównującą; 7 - urządzenie rejestrujące; 8 - czujnik prędkości orki;
9 - łącznik górny; 10 - regulacja wysokości płozu

Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 2. Test stand diagram

Badania laboratoryjne i laboratoryjno-półowe przeprowadzono zgodnie z zasadą matematycznego planowania eksperymentu drugiego rzędu dla trzech parametrów [Krasowski, Fiłarietow 1982].

W badaniach laboratoryjnych na wstępie został ustalony zakres zmian badanych parametrów (zgodnie z założeniami badawczymi) i ich kodowane wartości, które podano w tabeli 1.

Tabela 1. Kodowane wartości zmiennych niezależnych w badaniach laboratoryjnych

Table 1. Coded values of independent variables in laboratory tests

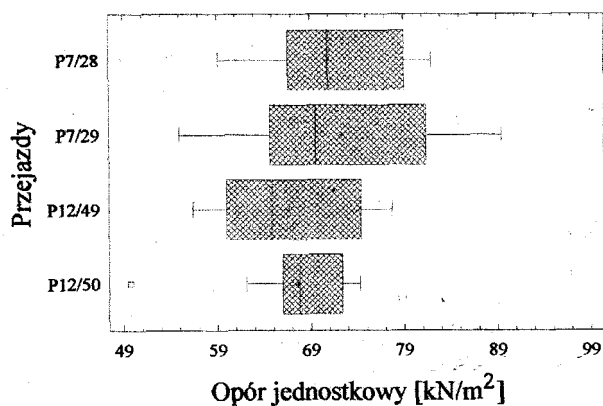
Badane zmienne (parametry)	Zakres zmian		Skok	
	-1	0	+1	
Kąt ustawienia θ (x_1), stop.	30	37,5	45	7,5
Kąt skrawania γ (x_2), stop.	30	37	44	7,0
Prędkość robocza v (x_3), $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	1,5	2,05	2,60	0,55

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.

Przebieg i wyniki badań

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 H_0 : średnie wartości prób w poszczególnych powtórzeniach są równe. Wyniki uzyskane nie dawały podstawy do odrzucenia hipotezy, że średnie są różne. Parametry ustawienia korpusu pługowego w funkcji prędkości roboczej prób do analizy powtarzalności dla poszczególnych wariantów, wybrane zostały losowo, zgodnie z zakresem zmienności z wcześniejszą sporządzoną macierzą parametrów zmiennych niezależnych (x_1, x_2, x_3). Graficzne porównanie wyników oporu jednostkowego w wybranych losowo przejazdach badawczych i ich powtórzeniach zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Opory jednostkowe dla kolejnych przejazdów roboczych
Fig. 3. Unit resistances for successive working runs

Ogółem wykonano 15 eksperymentów w 4 powtórzeniach. Zgodnie z metodyką badań i ustaleniami dotyczącymi zakresu zmian badanych parametrów i ich kodowania, została sporządzona macierz parametrów zmiennych niezależnych (x_1, x_2, x_3) i uzyskano odpowiednie wartości oporów jednostkowych (y_1, y_2, y_3 i y_{sr}).

Opór roboczy pługa...

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. Jednocześnie na podstawie przeprowadzonego eksperymentu otrzymano równania regresji (w kodowanej postaci) opisujące badany proces.

Współczynniki równania regresji według kryterium t - Studenta i ich wpływ na ogólną postać równania regresji charakteryzują dane zawarte w tabeli 3.

Tabela 3. Współczynniki równania regresji dla oporu jednostkowego
Table 3. Regression equation coefficients for unit resistance

Oznaczenia współczynników równania regresji	Wartości współczynników równania regresji	Kryterium t - Studenta	Stopień wpływu współczynników na opór jednostkowy [%]	Istotność współczynników regresji > 95% duża + < 95% mała -
W 1 =	1,8977	2,101	95,87	+
W 2 =	2,3339	2,565	98,63	+
W 3 =	4,3608	4,746	100,00	+
W 12 =	- 0,9568	- 0,927	64,14	-
W 13 =	0,8555	0,817	58,18	-
W 23 =	1,2696	1,207	76,10	-
W 11 =	4,9958	2,758	99,16	+
W 22 =	1,7096	0,934	64,47	-
W 33 =	1,9627	1,042	69,68	-
W 123 =	1,6206	1,510	86,19	-
W 0 =	58,8020	39,255	wolny wyraz	

Współczynnik determinacji – $R^2 = 0,9657$

W wyniku przeprowadzonych pomiarów oporu jednostkowego otrzymano równanie regresji (w kodowanej postaci) adekwatnie opisujące badany proces:

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

Według otrzymanego równania ustawienie korpusu symetrycznego w pługu wahadłowym jest najkorzystniejsze ze względu na minimum oporu jednostkowego wynoszącego 56,0217 ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$) przy następujących wartościach kątów ustawienia korpusów i prędkości roboczej pługa :

$$x_1 (\theta_1) = -0,2350 (35^\circ 44'); \quad x_2 (\gamma) = -0,5036 (33^\circ 28'); \quad x_3 (v) = -0,9453 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Dla przyjętego $x_1 = -0,2350$ równanie (1) przyjmuje postać:

$$Y_1 = 58,63 + 2,56 x_2 + 4,16 x_3 + 0,89 x_2 \cdot x_3 + 1,71 x_2 \cdot x_2 + 1,96 x_3 \cdot x_3 \quad (2)$$

Funkcja y_1 przyjmuje wartości minimalne i maksymalne w następujących punktach:

$$y_1 \text{ min. } (x_2 = -0,5036; x_3 = -0,9453) = 56,02$$

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

Wnioski

Badania laboratoryjne pługa wahadłowego ogólnie potwierdziły wpływ analizowanych zmiennych niezależnych na opór jednostkowy pracy pługa, przy czym:

- otrzymane równanie regresji badanego procesu spełniają rolę modelu matematycznego wiążącego w zależność ustawienie korpusu symetrycznego pługa wahadłowego i prędkości orki z oporami jednostkowymi. Może on stanowić podstawę do optymalizacji parametrów techniczno-eksploatacyjnych pługa z uwagi na energochłonność zabiegu;
- w wyniku analizy pracy pługa uzyskano najlepsze wartości wskaźników energetycznych przy następującym ustawieniu korpusu płuznego i prędkości orki -

$$x_1(\theta_1) = -0,2350 (35^\circ 44') \quad x_2(\gamma) = -0,5036 (33^\circ 28') \quad x_3(v) = -0,9453 (1,52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})$$

Bibliografia

- Blendych W.W., Chudjakow S.J.** 1989. Matematyčeskaja model raboczej powierchnosti korpusa pługa. Technika w Sielskom Choziajstwie. Nr 2. s. 42-43.
- 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.
- Klonowski J., Kuczewski J.** 1996. Analiza oporu roboczego narzędzia szerokiego o walcowej powierzchni roboczej. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1. s. 13-18.
- Krasowski G.J., Filaretow G.F.** 1982. Planowanie eksperymentu. Mińsk. s. 224.
- Miszczak M., Bialek J., Alborski M.** 2000. Opór roboczy różnych korpusów płuznych. 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. Agric. Eng. Vol. 37. Nr 4. s. 279-285.
- Ptaszyński S., Mosz J., Józefowicz J.** 2001. Test pługów obracalnych. TOP Agrar. Nr 2. s. 88-91.
- Ptaszyński S.** 1991. Skrócone badania prototypu pługa dwustronnego z korpusami symetrycznymi. IBMER. Zakład Mechanizacji Uprawy gleby i Siewu. Warszawa. Nr 5. s. 6.
- 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. s. 3-8.

SWING PLOUGH BODY WORKING DRAFT AND QUALITY OF WORK

Abstract. The analysis of relevant knowledge has shown that studies concerning the effect of swinging plough bodies setting up on ploughing operation quality and energy demand are incomplete. To fill up this “gap” we have carried out laboratory tests of a one-body swinging plough in the testing channel. Our tests focused on defining the influence of plough share setting and cutting angles, dependent on working rate, on plough unit draft value and quality of work. In the studies there was applied the mathematical planning of second row trial for three parameters. The experiment was subjected to statistical analysis to show regression interdependence of the variable trials. As a result we have got the regression equation (written in cod) describing the process under study. On the base of the effected research we could establish the most favourable (as regards plugh unit draft and work quality) setting angles of the swinging plough symmetrical body, in function of ploughing rate. According to the laboratory tests results it was stated that the lowest plough unit draft value amounted to $56,02 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ at plough body carrier setting angle amounting to $35^{\circ}44'$; at cutting angle amounting to $33^{\circ}28'$, and ploughing rate amounting to $1,52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Key words: agricultural machines, swing ploughs, draft resistance, plant cultivation

Adres do korespondencji:

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