

## ANALIZA ZALEŻNOŚCI OPORU JEDNOSTKOWEGO PŁUGA OD KSZTAŁTU JEGO POWIERZCHNI ROBOCZEJ

**Józef Kuczewski**, *Jacek Białek*

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

### Wstęp

Prognozowanie oporu jednostkowego na podstawie charakterystycznych parametrów powierzchni roboczej, już podczas projektowania korpusu płężnego, może pozwolić na dobranie jego najlepszych parametrów przed wykonaniem prototypów. W tym celu została opracowana metoda obliczeniowego prognozowania oporu na podstawie danych technicznych, odczytywanych z rysunku konstrukcyjnego [BIAŁEK 2001].

### Metoda prognozowania oporu jednostkowego korpusu pługa na podstawie parametrów technicznych jego powierzchni roboczej

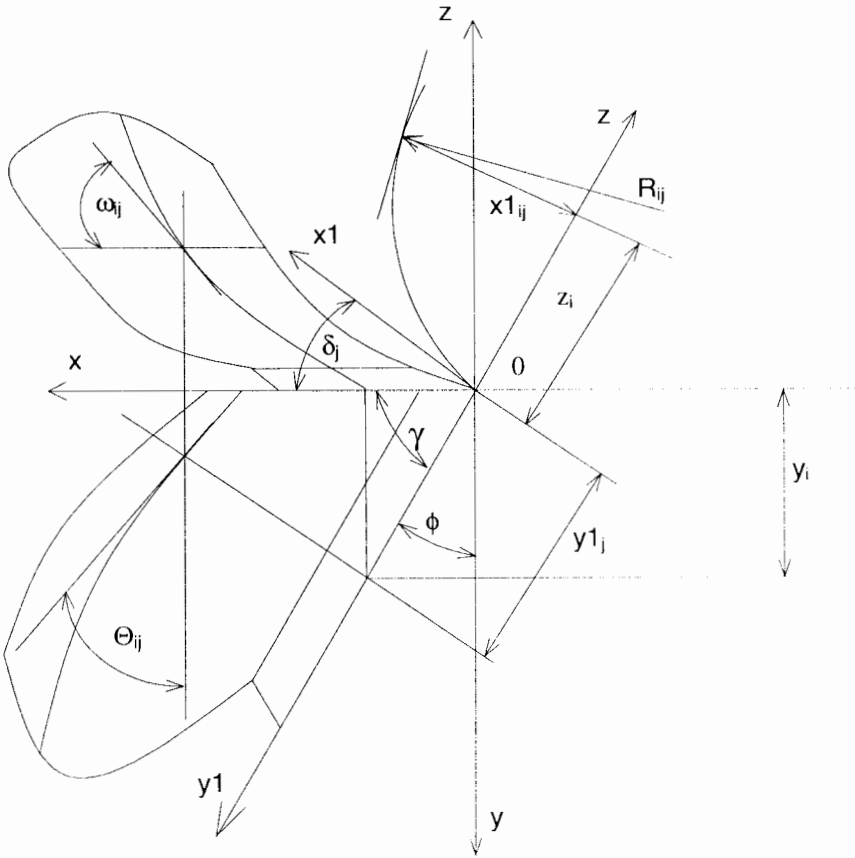
Dla scharakteryzowania kształtu powierzchni roboczej korpusu płężnego wykorzystano dane zawarte w jej profilogramie konstrukcyjnym. Na podstawie opracowanego modelu i własnego programu komputerowego uzyskano równania trzeciego stopnia, opisujące kształt obliczeniowej powierzchni zastępczej, a następnie wyznaczono we wszystkich punktach siatki profilogramu kąty  $\omega$ ,  $\Theta$  i  $\delta$  (patrz „Wykaz oznaczeń” i rys. 1).

Po dokonaniu szeregu analiz roboczych, dla scharakteryzowania na tej podstawie kształtu powierzchni roboczej, wybrano zestaw parametrów charakterystycznych (patrz „Wykaz oznaczeń”).

Analizując następnie metodą korygowanej regresji krokowej związek wprowadzonych parametrów charakterystycznych z rzeczywistym oporem jednostkowym korpusów płężnych o różnym kształcie, uzyskano równanie prognostyczne o postaci:

$$k = \left[ \begin{array}{l} p(16,956 \Delta) + u(-177,41 \Omega z + 297,345 \Omega n + 166,650 \Theta r) \\ + pu(-12,862 \Omega n - 15,202 \Theta s) \end{array} \right]$$

$$+ \left[ \begin{array}{l} p(8,666 \Omega s - 2,680 \Omega z - 16,327 \Delta) + u(223,292 \Theta s - 337,897 \Theta n) \\ + pu(-3,951 \Omega n - 78,619 \Delta) + 16,662 \Theta n \end{array} \right] v^2$$



Rys. 1. Główne wymiary analizowanej powierzchni roboczej  
 Fig. 1. Main dimensions of analysed working surface

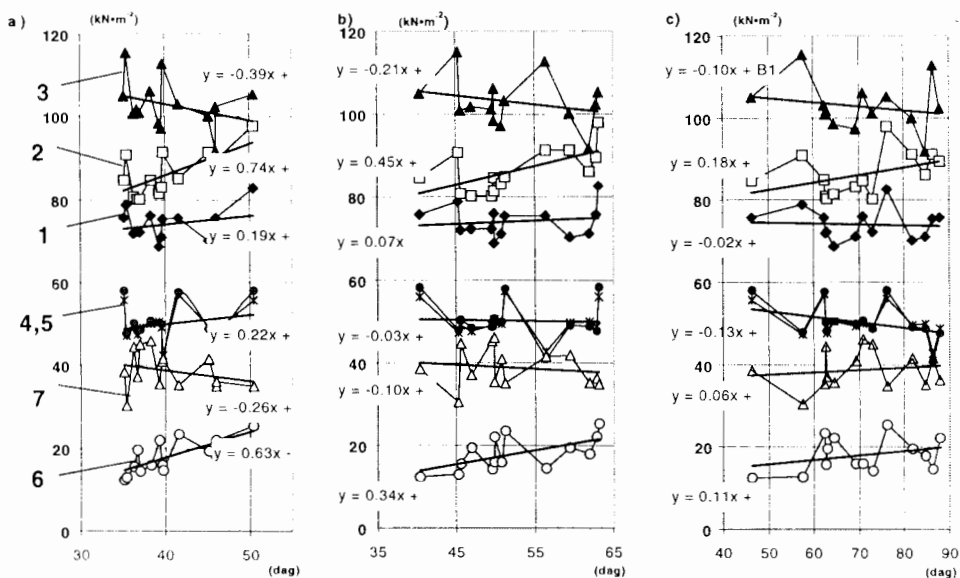
Współczynnik korelacji dla tego równania wynosi  $R = 0,877$ , a średnia wartość błędów dla obliczanego oporu roboczej wyniosła 7,2%.

### Analiza wpływu charakterystycznych parametrów powierzchni roboczej na opór jednostkowy korpusu płuznego

W celu przeanalizowania związków pomiędzy wprowadzonymi parametrami charakterystycznymi dla powierzchni roboczej korpusu płuznego a jego oporem jednostkowym, obliczono według otrzymanego równania prognostycznego opory 14 różnych korpusów płuznych, przy założeniu jednakowych warunków ich pracy. Biorąc pod uwagę, że równanie prognostyczne zostało otrzymane na podstawie danych empirycznych metodami statystycznymi, uwzględniono taki sam zakres obliczeniowych warunków orki, jaki był brany pod uwagę przy wyznaczaniu danej zależności ( $p = 1,4-2$  MPa,  $u = 0,13-0,23$  kg  $H_2O \cdot kg^{-1}$  s.m.,  $v = 1,4-2,4$  m·s $^{-1}$ ). Odpowiada to szerokiemu zakresowi warunków, w jakich są wykonywane orki w polu.

W przeprowadzanej analizie uwzględniono w pierwszym rzędzie, że otrzymane równanie prognostyczne nie może być wykorzystywane do oceny bezpośredniego wpływu pojedynczego kąta na opór jednostkowy korpusu pługa. Wynika to stąd, że każda zmiana pojedynczego kąta wymusza zmianę kątów pozostałych, ze względu na warunek ciągłości powierzchni roboczej całego korpusu pługowego. Na tej podstawie w dalszym ciągu rozpatrzono ogólne trendy wpływu poszczególnych kątów powierzchni roboczej na opór jednostkowy. Uwzględniono przy tym różne warunki wykonywanej orki.

W pierwszym rzędzie przeanalizowano pełny zakres przyjętych warunków pracy na związek pomiędzy kształtem powierzchni roboczej a jej oporem jednostkowym, przedstawiając przykładowe przebiegi na wykresach (rys. 2). Dla każdego przebiegu kątów wprowadzono linię trendu liniowego, przyjmując współczynniki kierunkowe tych prostych za podstawę szczegółowych rozważań.



Rys. 2. Przykładowy przebieg charakterystycznych kątów powierzchni roboczej nad oporem jednostkowym poszczególnych korpusów, a – warunki lekkie ( $p = 1,4$  MPa,  $u = 0,13$  kg  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.,  $v = 1,4$  m·s $^{-1}$ ), b – warunki średnie (odpowiednio: 1,7; 0,18; 1,8), c – warunki ciężkie (odpowiednio: 2; 0,23; 2,4), 1 – kąty  $\Omega_s$ , 2 – kąty  $\Omega_n$ , 3 – kąty  $\Omega_z$ , 4 – kąty  $\Theta_s$ , 5 – kąty  $\Theta_n$ , 6 – kąty  $\Theta_r$ , 7 – kąty  $\Delta$ , A1-A6, B1-B6, C1-C6 – stałe w równaniach trendów

Fig. 2. Exemplary course of specific angles of working surface on the specific resistance different plough bodies; a – light conditions ( $p = 1,4$  MPa,  $u = 0,13$  kg  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$  DM,  $v = 1,4$  m·s $^{-1}$ ), b – mean conditions (relatively: 1,7; 0,18; 1,8), c – heavy conditions (relatively: 2; 0,23; 2,4), 1 – angles  $\Omega_s$ , 2 – angles  $\Omega_n$ , 3 – angles  $\Omega_z$ , 4 – angles  $\Theta_s$ , 5 – angles  $\Theta_n$ , 6 – angles  $\Theta_r$ , 7 – angles  $\Delta$ , A1-A6, B1-B6, C1-C6 – constants in trend equations

Wpływ średniego dla całej powierzchni roboczej kąta w płaszczyźnie pionowej, równoległej do kierunku ruchu  $\Omega_s$ , występuje tylko w lekkich warunkach pracy pługa. W średnich i ciężkich warunkach pracy związek tego kąta z oporem roboczym jest praktycznie pomijalny, a linia trendu jest niemal pozioma. Może to

wskazywać na wzajemnie znoszące się wpływy kątów, znajdujących się w różnych punktach siatki profilogramu powierzchni roboczej korpusu płuznego.

Natomiast we wszystkich warunkach orki wyraźny jest związek oporu jednostkowego z kątem występującym na warstwyce odpowiadającej nominalnej głębokości orki  $\Omega_n$ . Zwiększenie tego kąta wiąże się wyraźnie ze zwiększeniem oporu jednostkowego, przy czym wpływ ten systematycznie maleje w średnich i ciężkich warunkach orki, na co wskazują wartości współczynników kierunkowych linii trendu. Kąt ten nie był dotychczas w ten sposób rozpatrywany jako ważny czynnik, wpływający na opór jednostkowy korpusu płuznego.

Wyraźny związek występuje też pomiędzy oporem jednostkowym a „kątem zejścia skiby z odkładnicy”  $\Omega_z$ . Jednak w tym przypadku zaobserwowano zależność odwrotną: większe wartości oporu jednostkowego występują przy mniejszych wartościach kąta  $\Omega_z$ . Może to być spowodowane potrzebą pewnego wydłużenia korpusu dla uzyskania mniejszych kątów na najwyższej warstwyce, wiążącego się z wydłużeniem drogi tarcia. Zagadnienie to wymaga jeszcze dalszych badań.

Kąty w płaszczyźnie poziomej: średni dla całej powierzchni roboczej  $\Theta_s$  i występujący na nominalnej warstwyce  $\Theta_n$  są we wszystkich przypadkach niemal identyczne. Ich związek z oporem jednostkowym jest nieznaczny, lecz zróżnicowany, gdyż wartości współczynników kierunkowych linii trendu zawierają się w zakresie od ok. 0,2 do ok. -0,1. Współczynniki te maleją w bardziej ciężkich warunkach pracy pługa. Możliwe przyczyny tych zmian mogą wiązać się z wilgotnością gleby, co dalej przeanalizowano odrębnie.

Natomiast występuje wyraźny związek pomiędzy oporem jednostkowym a kątem  $\Theta_r$ , będącym różnicą największych i najmniejszych wartości kątów w płaszczyźnie poziomej. Wiąże się to bez wątpienia ze zmianą kierunku przepływu skiby po odkładnicy.

Związek oporu jednostkowego z kątem nachylenia lemiesza w płaszczyźnie prostopadłej do jego ostrza  $\Delta$  okazał się zmienny w różnych warunkach wykonywania orki. Wzrost oporu wraz ze wzrostem tego kąta wystąpił tylko w ciężkich warunkach pracy. Również ta zależność wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

Szczegółowy wpływ wilgotności gleby na analizowaną zależność rozpatrzono dla gleby zwięzłej ( $p = 2$  MPa), przy dużej prędkości roboczej ( $v = 2,4$  m·s<sup>-1</sup>). Przy orce gleby o dużej wilgotności szereg zależności okazało się wyraźnie odmiennych od występujących przy orce gleby suchej. Zróżnicowany był zwłaszcza przebieg linii trendu dla kątów w płaszczyźnie poziomej  $\Theta_s$  i  $\Theta_n$ , gdzie przy małej wilgotności wzrost tych kątów (mierzonych od prostopadłej do ruchu pługa) powoduje również wzrost oporu, przypuszczalnie wiążący się ze wzrostem tarcia na wydłużonym w tym przypadku korpusie pługa. Natomiast przy dużej wilgotności można oczekiwać mniejszych wartości współczynnika tarcia, co powoduje, że bardziej ukośnie ustawione warstwyce zapewniają zmniejszenie oporu orki. Analogiczny układ występuje również dla kątów  $\Delta$ , gdzie przy dużym współczynniku tarcia płaskie ustawienie, a więc wydłużenie lemiesza mogło powodować wzrost oporów orki w porównaniu z lemieszem krótkim.

W analogiczny sposób przeanalizowano szczegółowo wpływ prędkości orki na związek pomiędzy oporem jednostkowym a charakterystycznymi kątami powierzchni roboczej, dla warunków pracy w glebie suchej ( $u = 0,13$  kg H<sub>2</sub>O·kg<sup>-1</sup> s.m.), o dużej zwięzłości ( $p = 2$  MPa). Również tu występuje zróżnicowanie współczynników kierunkowych linii trendu dla poszczególnych kątów, występują-

cych przy różnej prędkości orki. Ponieważ tę część analizy przeprowadzono dla gleby suchej, więc wyraźnie wystąpił przypuszczalny wpływ oporów tarcia, wyrażający się zwłaszcza w przebiegu linii trendu dla kątów  $\Theta_s$ ,  $\Theta_n$ , i  $\Delta$ .

Przeprowadzona analiza omawia zależności ogólne i potwierdza uczynione na wstępie zastrzeżenie, że nie można liczbowo wyznaczać wartości oporu jednostkowego na podstawie pojedynczego parametru powierzchni roboczej korpusu pługa.

### Wnioski

1. Opracowany model i przedstawione w pracy równanie prognostyczne wyjaśnia szereg zależności pomiędzy charakterystycznymi współczynnikami kształtu powierzchni roboczej korpusu pługowego a jego oporem jednostkowym.
2. Charakterystyczne parametry kształtu powierzchni roboczej stanowi zestaw kątów ustawienia stycznych do powierzchni zastępczej, uzyskanej na podstawie konstrukcyjnego profilogramu korpusu.
3. Ocena oporu jednostkowego korpusu pługowego nie może być dokonywana na podstawie pojedynczego parametru jego powierzchni roboczej, ani też na podstawie wartości średnich dla całej powierzchni.
4. W ocenie oporu jednostkowego istotny jest zwłaszcza wpływ kątów w płaszczyźnie pionowej, równoległej do kierunku ruchu, występujących na warstwy odpowiadającej nominalnej głębokości orki, nierozpatrywanych we wcześniejszych pracach, cytowanych w literaturze.
5. Wpływ charakterystycznych parametrów powierzchni roboczej korpusu pługowego na jego opór jednostkowy musi być powiązany z warunkami wykonywanej orki, a zwłaszcza z wilgotnością gleby i prędkością roboczą.

### Wykaz oznaczeń

k	– opór jednostkowy korpusu pługowego ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ),
p	– zwięzłość gleby, mierzona penetrometrem stożkowym [ASAF: 1993], (MPa),
u	– zawartość wody w glebie ( $\text{kg H}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.),
v	– prędkość orki ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),
$\omega$ , $\Theta$ , $\delta$	– kąty nachylenia stycznych do obliczeniowej powierzchni w poszczególnych płaszczyznach, wyznaczone we wszystkich punktach siatki profilogramu (rad),
$\Omega_s$ , $\Omega_n$ , $\Omega_z$	– średnie wartości kątów $\omega$ dla: całej powierzchni roboczej (siatki profilogramu), występujących na warstwy odpowiadającej nominalnej głębokości orki, na najwyższych warstwach w profilogramie – „kąt zejścia skiby z odkładnicy” (rad),
$\Theta_s$ , $\Theta_n$ , $\Theta_r$	– średnie wartości kątów $\Theta$ dla całej odkładnicy, na warstwy nominalnej oraz różnica największego i najmniejszego kąta $\Theta$ (rad),
$\Delta$	– średnia wartość kątów $\delta$ na lemieszu (rad).

## Literatura

ASAE 1993. ASAE Standard S313.2: ASAE Standards, 40th Edition, Standards Engineering Practices, Data.

BIAŁEK J. 2001. *Wpływ kształtu powierzchni roboczej korpusu płużnego na jego opór*. Praca doktorska. Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW, Warszawa (maszynopis).

**Słowa kluczowe:** korpus płużny, opór jednostkowy pługa

## Streszczenie

Na podstawie danych profilogramów korpusów płużnych wyznaczono równanie oporu jednostkowego pługa w zależności od wskaźników charakterystycznych kształtu powierzchni roboczej i warunków orki. Wskazano na ogólne trendy wpływu poszczególnych parametrów powierzchni roboczej na opór jednostkowy.

## ANALYSIS OF DEPENDENCE BETWEEN THE PLOUGH SPECIFIC RESISTANCE AND THE SHAPE OF ITS WORKING SURFACE

Józef Kuczewski, Jacek Białek

Department of Agricultural and Forestry Machinery,  
Warsaw Agricultural University, Warszawa

**Key words:** plough body, plough specific resistance

## Summary

Basing on the plough body profilograms there was determined an equation for the plough specific resistance as dependent on the shape of plough body working surface and its working conditions was determined. General trends of the effect of particular working surface parameters on specific resistance were pointed out.

Dr inż. Jacek **Białek**  
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
ul. Nowoursynowska 166  
02-787 WARSZAWA  
e-mail: bialek@alpha.sggw.waw.pl