

## 15.1. Ciągnik, maszyna, narzędzie i przestrzenny układ sił

Pierwszy z wymienionych zakresów analizy dotyczy geometrycznego rozkładu sił w narzędziu lub maszynie, odpowiednio do ich konstrukcyjnych cech, które decydują np. o symetrycznym lub asymetrycznym obciążaniu układu sprzęgowego ciągnika. Analiza składowych sił działających w płaszczyźnie poziomej i pionowej umożliwia wyznaczenie wypadkowych oporów roboczych działających na ciągnik, a także wielkości i kierunku obciążenia kół napędowych i elementów sprzęgowych ciągnika. Dzięki tego typu analizie graficznej można wskazać na zróżnicowanie warunków działania agregatu ciągnikowego, współpracę ciągnika z maszynami i narzędziami, a także możliwości optymalizacji tej współpracy. Przykładem wykorzystania przestrzennego układu sił działających w agregatach jest porównanie współpracy ciągnika z dwoma typami pługów: z siłową i kopiującą regulacją głębokości orki. Typ pługa i jego dodatkowe wyposażenie (np. w koło kopiujące) wpływa na rozkład poszczególnych sił, a tym samym na sposób graficznego ich wyznaczenia. Określanie wartości poszczególnych sił na podstawie analizy ich geometrycznego rozkładu jest bardzo uciążliwe, a równocześnie może być obarczone błędem. Dlatego podstawowe siły działające na zaczepie ciągnika wyznacza się na podstawie analizy czynników kształtujących wartość oporu stawianego przez maszyny i narzędzia rolnicze w danych warunkach roboczych, z uwzględnieniem ich parametrów technicznych i wymagań agrotechnicznych.

## 15.2. Opory maszyn i narzędzi rolniczych

Warunkiem wykonania użytecznej pracy przez agregat ciągnikowy jest pokonanie przez ciągnik całkowitych oporów stawianych przez maszynę lub narzędzie. O wartości całkowitego oporu decyduje opór roboczy i jałowy.

**Opór roboczy** maszyny lub narzędzia wynika z realizacji określonego zadania roboczego, do którego dany sprzęt rolniczy został przeznaczony, zarówno na polu (np. przy przemieszczaniu lub mieszaniu wierzchniej warstwy gleby, rozprowadzaniu nawozów, zbiorze roślin, itp.), jak i na drodze (np. przy przemieszczaniu środków transportowych – przyczep, itp.).

**Opór jałowy** maszyny lub narzędzia dodatkowo obciąża ciągnik i nie jest bezpośrednio związany z wykonywaniem zadań roboczych. Dotyczy to m.in. przemieszczania zespołów w maszynie lub narzędziu, które nie są bezpośrednio włączone w realizację zadań roboczych, np. opór pochodzący od dodatkowych kółek podtrzymujących.

Całkowity opór stawiany przez maszynę lub narzędzie musi być równoważony przez siłę uciągu ciągnika na jego zaczepie. Wartość tej siły, a tym samym wspomnianego oporu na zaczepie, zależy od rodzaju połączonej z ciągnikiem maszyny lub narzędzia rolniczego i charakterystycznych cech ich działania w glebie lub na powierzchni pola bądź drogi.

Szczegółowe zależności służące do wyznaczania oporów roboczych są formułowane w odniesieniu do następujących grup maszyn i narzędzi rolniczych współpracujących z ciągnikami:

- pługów;
- narzędzi doprawiających glebę;
- siewników, sadzarek i narzędzi do pielęgnacji międzyrzędowej;
- przyczep i maszyn wyposażonych we własny układ jezdny.

Opór roboczy maszyn i narzędzi rolniczych, który w dalszej części podręcznika oznaczono symbolem  $P_{oz}$ , jest wyrażany w jednostkach siły, tj. niutonach [N] lub kiloniuutonach [kN].

### 15.2.1. Opór roboczy pługa

Opór na zaczepie  $P_{oz}$  stawiany przez pług w czasie pracy, można wyznaczyć z następującej zależności:

$$P_{oz} = a \cdot b_p \cdot k_g \text{ [kN]} \quad (1)$$

gdzie:

$a$  – głębokość robocza pługa, m;

$b_p$  – szerokość robocza pługa, m;

$k_g$  – jednostkowy opór gleby w czasie orki, kN/m<sup>2</sup>.

**Głębokość  $a$** , z jaką pracuje pług, jest uwarunkowana rodzajem wykonywanej orki. W praktyce rozróżnia się kilka rodzajów orki, którym odpowiadają określone wielkości zagłębienia pługa  $a$ :

- orkę płytką, tzw. podorywkę: 8–12 cm;
- orkę średnią, tzw. orkę przedsięwną: 15–25 cm;
- orkę głęboką, tzw. orkę zimową lub zięblę: 25–40 cm;
- orkę bardzo głęboką, tzw. orkę melioracyjną: powyżej 40 cm.

Odpowiednio do planowanego zakresu głębokości wykonywania orki można – oprócz pługów uniwersalnych – dobrać pług przystosowany do podorywki bądź orki głębokiej.

Szerokość robocza pługa  $b_p$  wynika z liczby zamontowanych na wspólnej ramie korpusów płuznych i roboczej szerokości pojedynczego korpusu. Pługi ciągnikowe są wyposażane w co najmniej dwa korpusy, a maksymalna liczba korpusów w jednym narzędziu jest indywidualnie dobierana przez jego producenta i na ogół nie przekracza 12–14. We współczesnych konstrukcjach pługów obserwuje się tendencję do zwiększania szerokości roboczej pojedynczego korpusu płuznego do 40 cm i więcej. W niewielkim zakresie szerokość roboczą pługa zagregatowanego z ciągnikiem można regulować, tym niemniej w obliczeniach oporów roboczych przyjmuje się na ogół stałą szerokość działania narzędzia.

Jednostkowy opór gleby  $k_g$  charakteryzuje rodzaj środowiska glebowego, w którym jest wykonywana orka. Środowisko to charakteryzuje się określoną zwięzłością wierzchniej warstwy, która może wykazywać znaczne zróżnicowanie dla tak skrajnych przypadków jak chociażby gleby piaszczyste i gleby gliniaste. Wartości jednostkowego oporu dla wymienionych jako przykład odpowiednio gleb lekkich i ciężkich, a także innych typów gleb, przytoczono w tabeli 15.1.

Tabela 15.1. Wartości oporu jednostkowego gleby w czasie orki,  $k_g$

Typ gleby – kategoria ciężkości	Rodzaj gleby	Opór jednostkowy, $\text{kN/m}^2$
Lekkie	piasek luźny	20
	piasek gliniasty	20–30
	glina lekka	30–40
Średniozwięzłe	glina średnia	40–60
	pył gliniasty	
Zwięzłe – ciężkie	pył ilasty	60–75
	glina ciężka	70–85 (glina wilgotna)
		85–100 (glina sucha)

Opór roboczy pługa zależy również od innych czynników niż przytoczone we wzorze (1), w tym od prędkości jazdy agregatu. Zwiększeniu prędkości jazdy towarzyszy wzrost oporów roboczych, tym niemniej ze względu na relatywnie wąski zakres zmian prędkości w czasie orki i uproszczenie obliczeń z dostateczną dokładnością dla końcowego wyniku korzysta się z podanej zależności (1).

### 15.2.2. Opór roboczy narzędzi doprawiających glebę

Niezależnie od specyfiki pracy i zróżnicowanego oddziaływania na środowisko glebowe poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi doprawiających glebę, zależ-

ność służącą do wyznaczania roboczego oporu na zaczepie  $P_{oz}$  w tej grupie urządzeń charakteryzuje następująca uproszczona postać:

$$P_{oz} = b_d \cdot k_d \text{ [kN]} \quad (2)$$

gdzie:

$b_d$  – szerokość robocza narzędzia doprawiającego glebę, m;

$k_d$  – jednostkowy opór narzędzia doprawiającego glebę, kN/m.

**Szerokość robocza  $b_d$**  zawarta we wzorze (2), zalicza się do podstawowych parametrów technicznych różnicujących dostępne na rynku wersje narzędzi do doprawiania gleby. Parametr ten, oprócz charakterystyki i efektów działania w glebie, jest równocześnie jednym z najważniejszych wyznaczników doboru danego rozwiązania technicznego do gospodarstwa i realizowanych tam technologii produkcji roślinnej.

*Tabela 15.2. Wartości oprów jednostkowych narzędzi doprawiających glebę,  $k_d$*

Rodzaj narzędzia	Opór jednostkowy – $k_d$ , kN/m	
	zakres	średnio
Brona chwastownik	0,35–0,65	0,5
Brona sprężynowa	1,0–1,8	1,4
Brona talerzowa	2,0–8,0	4,0
Brona zębowa:		
posiewna	0,35–0,55	0,4
średnia zawieszana	0,6–0,8	0,7
ciężka przyczepiana	1,0–1,7	1,3
Kultywator zawieszany z zębami:		
sprężynowymi z redliczką	1,9–2,4	2,0
półsprężynowymi z gęsiostopką	1,5–2,1	1,8
Wał:		
Campbella	1,0–1,5	1,3
Croskill-Cambridge	0,9–1,3	1,1
gładki	0,4–0,6	0,5
kolczasty	1,0–2,0	1,4
łukowy	1,1–1,3	1,2
piersienny	0,7–1,0	0,9
strunowy	0,3–0,6	0,4
Włóka	0,4–0,8	0,6
Agregaty uprawowe:		
brona lekka + wał strunowy	0,4–0,85	0,7
brona ciężka + wał strunowy	1,0–2,0	1,5
kultywator + wał strunowy	2,2–4,0	2,3
kultywator + brona	1,8–2,5	2,3
Uniwersalny siewnik rzędowy	0,8–1,5	1,1
Pielnik	1,0–1,7	1,4
Przetraszączo-zgrabiarka beznapędowa	0,4–0,8	0,6

**Jednostkowy opór narzędzia doprawiającego glebę**  $k_d$  jest uwarunkowany konstrukcyjnymi cechami zespołów roboczych, zakresem i intensywnością ich działania w glebie. Wartości jednostkowych, tj. odniesionych do jednego metra szerokości roboczej oporów poszczególnych narzędzi doprawiających glebę, zostały wyznaczone na podstawie specjalistycznych pomiarów polowych. Przykładowe wartości jednostkowych oporów narzędzi doprawiających glebę zestawiono w tabeli 15.2. Znaczne różnicowanie wartości jednostkowych oporów  $k_d$  dla poszczególnych narzędzi może wynikać z typu gleb, na których są prowadzone prace uprawowe, a także wspomnianego wcześniej zakresu (np. głębokości) działania danego narzędzia.

### 15.2.3. Opór roboczy wybranych maszyn i narzędzi wyposażonych w sekcje robocze

W odniesieniu do niektórych maszyn i narzędzi wyposażonych w zespoły do formowania rzędów roślin lub pracy w takich rzędach zależność do wyznaczania roboczego oporu na zaczepie  $P_{oz}$  przyjmuje następującą postać:

$$P_{oz} = i_s \cdot k_r \quad [\text{kN}] \quad (3)$$

gdzie:  
 $i_s$  – liczba sekcji roboczych maszyny lub narzędzia;  
 $k_r$  – opór przypadający na pojedynczą sekcję roboczą maszyny lub narzędzia, kN.

Ogólna postać wzoru (3) jest analogiczna do zależności (2), służącej do określania oporów narzędzi doprawiających glebę. Jedyne współczynnik  $k_r$  uwzględnia inną miarę odniesienia, tj. opór przypadający na pojedynczą sekcję lub zespół roboczy maszyny bądź narzędzia. Przykładowe wartości jednostkowego oporu  $k_r$  zestawiono w tabeli 15.3. Przytoczone wartości zostały wyznaczone i uśrednione na podstawie wyników badań eksperymentalnych.

Tabela 15.3. Wartości oporów jednostkowych maszyn i narzędzi wyposażonych w sekcje robocze,  $k_r$

Rodzaj maszyny lub narzędzia	Opór jednostkowy – $k_r$ , kN/sek.	
	zakres	średnio
Siewnik punktowy do: buraków	0,3–0,6	0,4
kukurydzy	0,4–0,7	0,55
Automatyczna sadzarka do ziemniaków: tarczowo-chwytkowa	1,5–2,3	2,0
taśmowo-czerpakowa	1,5–2,2	1,8
Półautomatyczna sadzarka do ziemniaków z: redlicami skrzydełkowymi	1,0–1,35	1,25
redlicami talerzowymi	1,2–1,5	1,4
Obsypnik	0,5–1,0	0,75

Uwaga: W odniesieniu do maszyn wyposażonych w skrzynie lub zbiorniki przytoczone wartości oporów uwzględniają ciężar maszyny z ładunkiem w zbiorniku

Wzory (2) i (3) można również wykorzystywać łącznie, np. gdy zestawia się złożone agregaty wieloczynnościowe i wymaga to wyznaczenia sumarycznego oporu na zaczepie dla wszystkich maszyn i narzędzi rolniczych tworzących agregat.