

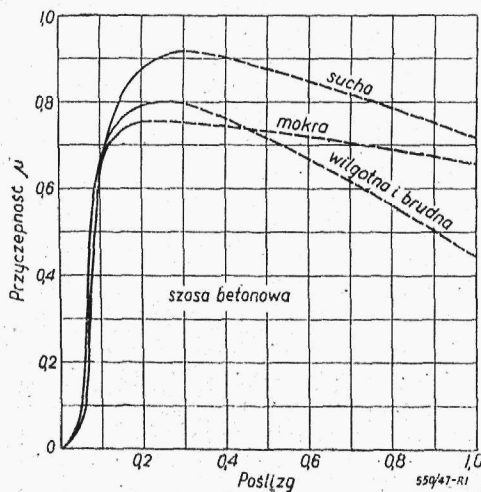
# Sprawność ciągników rolniczych i drogowych

Inż. mech. EDWARD HABICH

Znaczenie sprawności silnika i czynniki wpływające na tę sprawność. Moc użyteczna ciągnika i siła na haku. Zjawisko poślizgu kół i straty poślizgu. Wyprowadzenie wzoru na sprawność uciągu. Sprawność uciągu poszczególnych rodzajów ciągników. Znaczenie stosunku mocy do ciężaru ciągnika.

Wydatki na paliwo stanowią znaczną część wydatków łożonych na utrzymanie ciągnika. Stąd też uzyskanie należytej sprawności ciągnika jest zagadnieniem pierwszorzędnej wagi. Sprawność ta zależy w dużej mierze od sprawności silnika użytego do napędu. Nie mniejszą jednak rolę gra tu konstrukcja podwozia ciągnika. Budowa ciągnika winna być dostosowana do przewidywanych warunków pracy i odwrotnie — ciągnik powinien być eksploatowany w takich warunkach, do których został przeznaczony i w których wykazuje największą sprawność.

Stosowane obecnie silniki spalinowe odznaczają się wysoką sprawnością tylko przy dostatecznie dużym obciążeniu, przy małej mocy zużycie paliwa jest znacznie większe i dochodzi nawet do 0,8 kg/KM. godz. Na stopień obciążenia silnika wpływa właściwy dobór przekładni w skrzynce biegów. Przekładnie te winny być tak przeliczone, aby przy stosowanych szybkościach pracy ciągnika, silnik jego był możliwie jak najbardziej obciążony. Poruszone zagadnienia mają wpływ na sprawność samego silnika, tj. na jednostkowe zużycie paliwa w stosunku do pracy wykonywanej przez silnik. Odrębnego zaś poruszenia wymagają czynniki mające wpływ na wyzyskanie mocy otrzymywanej od silnika.



Rys. 1. Zależność przyczepności od poślizgu.

Moc silnika zużywa się na pokonanie oporów tarcia mechanizmów ciągnika, na straty wynikające wskutek poślizgu kół, oraz na pokonanie oporów ruchu ciągnika. Reszta stanowi moc użyteczną, przekazywaną przez ciągnik przyczepie, ciągniętej maszynie lub narzędziu.

Stosunek mocy użytecznej (mocy na haku) do mocy efektywnej silnika stanowi miarę sprawności podwozia ciągnika. Stosunek ten nazywa się sprawnością uciągu i oznacza się przez

$$\eta_u = \frac{N_u}{N_e} \quad (11)$$

$$N_u = \frac{P_u V}{270} \quad (12)$$

gdzie:

$N_u$  — moc użyteczna (moc na haku).

$P_u$  — siła na haku w kG

$V$  — szybkość ciągnika w km/godz.

Siła na haku jest różnicą pomiędzy siłą pędzącą  $P$  (siła na kołach lub gąsienicach), a siłą potrzebną na pokonanie oporów ruchu pojazdu —  $P_t$ ,

$$P_u = P - P_t \quad (13)$$

$$P_t = G (\varphi \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (14)$$

gdzie:

$G$  — całkowity ciężar ciągnika w kG

$\alpha$  — kąt pochylenia drogi

$\varphi$  — współczynnik oporu toczenia zależny od rodzaju gruntu i konstrukcji mechanizmu jezdnego, tj. kół lub gąsienic.

Siłę pędzącą  $P$  można przedstawić jako iloczyn z nacisku na koła pędzące —  $G_a$  i współczynnik przyczepności  $\mu$ :

$$P = G_a \mu \quad (15)$$

Doświadczenie wykazuje, że przy wzroście wielkości siły  $P$ , zmniejsza się szybkość pojazdu — przy niezmiennych obrotach kół. Nie wchodząc w sens fizyczny tego zjawiska, zależny od rodzaju mechanizmu jezdnego, będą określać je ogólnie jako *poślizg*. Miarą poślizgu będzie stosunek różnicy szybkości teoretycznej  $V_0$ , a szybkości rzeczywistej  $V$  do szybkości  $V_0$ . Szybkość  $V_0$  jest to szybkość z jaką poruszałby się pojazd, przy obrotach kół odpowiadających szybkości rzeczywistej, gdyby koło napędowe nie przenosiło siły pędzącej. Wyraża się to wzorem

$$s = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (16)$$

Przebieg funkcji ilustrującej zależność pomiędzy współczynnikiem przyczepności a poślizgiem dla opony samochodowej na nawierzchni betonowej przedstawia wykres na rys. 1<sup>1)</sup>.

Ze wzorów 3, 4, 5 zakładając, że kąt  $\alpha = 0$ , tj. ruch odbywa się na drodze poziomej, otrzymamy

$$P_u = G_a \mu - G \varphi \quad (17)$$

<sup>1)</sup> Wg *Bussen Automobiltechnisches Handbuch 1941* r. str. 9.

Oznaczając stosunek  $G_a$  do  $G$  przez  $m$ ,

$$m = \frac{G_a}{G} \dots \dots \dots [8]$$

możemy przekształcić wzór 7 na

$$P_u = G (m\mu - \varphi) \dots \dots \dots [9]$$

Dla ciągników gąsienicowych współczynnik  $m=1$ , gdyż cały ciężar ciągnika bierze udział w napędzie. Dla ciągników kołowych o tylnej osi napędzanej współczynnik  $m$  zależy od wartości  $\mu$ , gdyż następuje zmiana obciążenia osi spowodowana przez moment siły działającej na haku, która to siła jest funkcją:

$$\frac{P}{G_a} = \mu$$



Rys. 2. Pomiar poślizgu kół przy zastosowaniu przyczepy dynamometrycznej.

Z równań równowagi ciągnika otrzymuje się zależność

$$m = \frac{a}{L - \mu \cdot h} \dots \dots \dots [10]$$

Przyjęte symbole oznaczają:

$L$  — rozstaw osi

$a$  — odległość od środka ciężkości ciągnika do osi przedniej

$h$  — wysokość miejsca przyłożenia siły na haku nad powierzchnią drogi.

Moc użyteczną będziemy mogli na zasadzie powyższego wyrazić wzorem

$$N_u = \frac{G (m\mu - \varphi) V}{270} \dots \dots \dots [11]$$

Odpowiadającą temu moc silnika możemy przedstawić jako iloczyn z siły pędzącej  $P$  przez szybkość  $V_0$  (dla koła sztywnego będzie to jego szybkość obwodowa). Uwzględniając sprawność przekładni otrzymamy

$$N_e = \frac{P \cdot V_0}{270\eta_m} \dots \dots \dots [12]$$

gdzie:

$\eta_m$  — sprawność mechaniczna przekładni (w ciągniku gąsienicowym winna się tu również mieć sprawność gąsienicy).

Na podstawie zależności 5, 6 i 8 otrzymamy:

$$N_e = \frac{m G \mu V}{270 (1 - s) \eta_m} \dots \dots \dots [13]$$

Wstawiając zaś we wzór 1 wyrażenia z wzorów 11 i 13 otrzymamy:

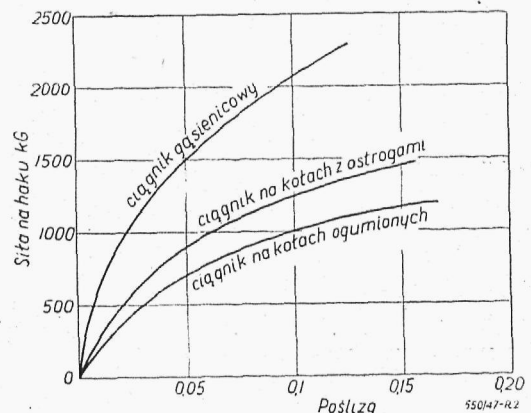
$$\eta_m = \left( 1 - \frac{\varphi}{m\mu} \right) (1 - s) \eta_m \dots \dots \dots [14]$$

Dla posługiwania się tym wzorem potrzebna jest znajomość zależności pomiędzy  $\mu$  i  $s$ . Dla ciągników kołowych należy jeszcze uwzględnić zależność  $m$  od  $\mu$  podaną we wzorze 10.

Z analizy wzoru 14 wynika, że aby uzyskać możliwie duże wartości sprawności uciągu, należy stosować taką konstrukcję elementów jezdnych, która by pozwoliła: uzyskać minimalną wartość oporu tocznienia, wyzyskać cały ciężar ciągnika jako nacisk na koła pędzące i otrzymać możliwie dużą wartość współczynnika przyczepności, przy jak najmniejszej wartości poślizgu  $s$ . Mechanizmy napędowe winny posiadać możliwie dużą sprawność mechaniczną.

Wszystkim tym warunkom z wyjątkiem ostatniego najlepiej odpowiada ciągnik gąsienicowy.

Gąsienica, posiadając dużą powierzchnię styku z gruntem, a wskutek tego mały nacisk jednostkowy, mniej ugniata grunt i tym samym w miękkim gruncie daje mniejsze opory ruchu niż koło.

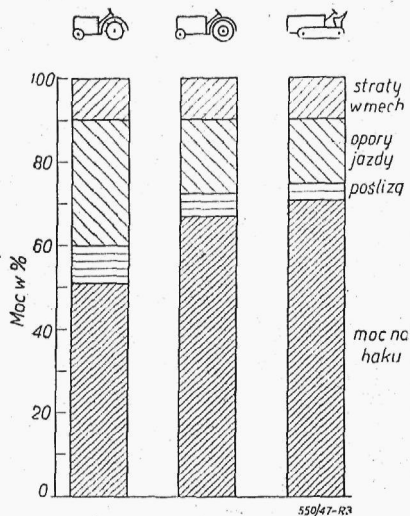


Rys. 3. Porównanie siły na haku na średnim gruncie dla ciągników o jednakowym ciężarze lecz o różnych rodzajach mechanizmów jezdnych

Zawdzięczając dużej powierzchni przylegania gąsienic do gruntu współczynnik przyczepności jest znacznie większy niż dla kół — a poślizg przy tym mniejszy.

Cały ciężar ciągnika gąsienicowego jest wykorzystywany jako nacisk na pędzące mechanizmy jezdne. Nieco mniejsza jest tylko sprawność mechaniczna, gdyż oprócz sprawności przekładni należy tu uwzględnić także sprawność gąsienicy, która wynosi około 0,95.

Ciekawe jest porównanie sprawności uciągu dla ciągników na kołach żelaznych, na oponach niskiego ciśnienia i na gąsienicach — otrzymane przy pomocy wzoru 14.



Rys. 4. Wpływ rodzaju mechanizmów jezdnych ciągników na bilans ich mocy na średnim gruncie.

W tym celu posługiwać się będziemy wartościami odpowiednich współczynników wziętymi z literatury, zestawionymi w Tabelicy I.

Otrzymujemy następujące wartości sprawności uciągu dla ciągników:

na kołach żelaznych

$$\eta_{iu} = \left(1 - \frac{0,18}{0,75 \cdot 0,7}\right) (1-0,1) 0,9 = 0,53$$

na oponach rolniczych.

$$\eta_{iu} = \left(1 - \frac{0,09}{0,75 \cdot 0,6}\right) (1-0,1) 0,9 = 0,65$$

na gąsienicach

$$\eta_{iu} = \left(1 - \frac{0,08}{0,9}\right) (1-0,03) 0,85 = 0,75$$

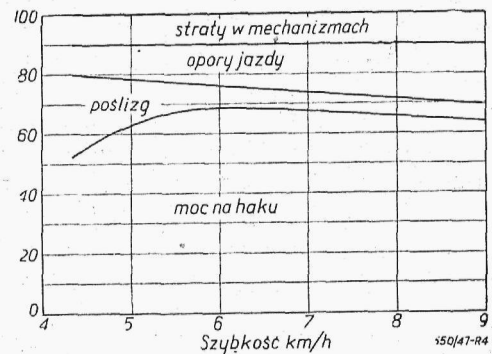
W załączonych rys. 3 i 4 podane są dane pomiarów przeprowadzonych na polu doświadczalnym w *Bornim* pod Berlinem.

TABELICA I.

Charakterystyczne współczynniki różnych rodzajów ciągnika.

	Ciągnik na kołach żelaznych	Ciągnik na oponach rolniczych	Ciągnik gąsienicowy
$\varphi$	0,18	0,09	0,08
$m$	0,75	0,75	1
$\mu$	0,70	0,60	0,90
$s$	0,10	0,10	0,03
$\eta_m$	0,90	0,90	0,85

Z podanych obliczeń i danych widać, że sprawność uciągu ciągników na kołach żelaznych jest bardzo niska i, że zmiana tych kół na koła z oponami rolniczymi daje bardzo znaczne oszczędności zużycia paliwa.



Rys. 5. Bilans mocy ciągnika XT3 na oponach rolniczych.

Dla ustalenia zależności sprawności uciągu od szybkości i stosunku mocy do ciężaru ciągnika przekształcimy wzór 14 przez wstawienie zależności:

$$m \mu = \frac{G_a \mu}{G} = \frac{P}{G} \quad [15]$$

otrzymując

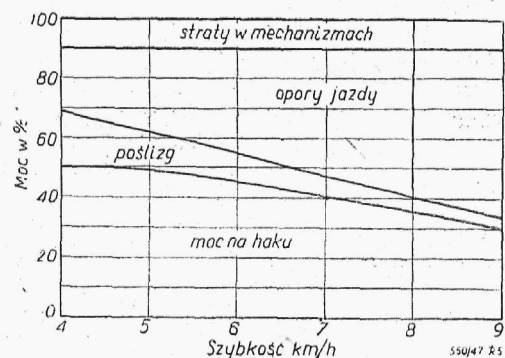
$$\eta_{iu} = \left(1 - \frac{\varphi G}{P}\right) (1-s) \eta_m \quad [16]$$

a posługując się zależnością:

$$\frac{P}{G} = \frac{270 N_e \eta_m (1-s)}{G V} \quad [17]$$

otrzymamy ostateczne wyrażenie na  $\eta_{iu}$  w postaci

$$\eta_{iu} = (1-s) \eta_m - \frac{\varphi G \cdot V}{270 \cdot N_e} \quad [18]$$



Rys. 6. Bilans mocy ciągnika XT3 na kołach żelaznych z ostrogami.

Z wzoru 18 widać, że ciągniki szybsze mają mniejszą sprawność jeżeli pozostałe czynniki pozostają bez zmiany. Na rysunku 5 i 6 podane są wykazy bilansu mocy dla radzieckiego ciągnika XT3 na oponach rolniczych i na kołach żelaznych<sup>2)</sup>. Wy-

<sup>2)</sup> Na podstawie książki Lwowa, „Teoria Traktora” Moskwa 1946 r.

kresy te uwidoczniają wpływ rodzaju kół, poślizgu i szybkości jazdy na sprawności uciągu.

W ostatnich kilkunastu latach można jednak zauważyć wyraźną tendencję zwiększania szybkości stosowanych w robotach rolnych. Zwiększając szybkość ciągnika można skompensować spadek jego sprawności przez zwiększenie w odpowiednim stopniu jego mocy. Moc jednostkowa, która wyraża się

stosunkiem  $\frac{N_e}{G}$  będzie wtedy większa. W związ-

ku z tym w ostatnich latach wzrosły moce jednostkowe budowanych ciągników rolniczych z wartości wynoszących około 11 KM na tonę do 14÷15 KM na tonę. Odbiło się to na konstrukcji tych ciągników która jest lżejsza i w swym charakterze bardziej zbliżona do konstrukcji samochodowych. Większy ciężar niezbędny dla uzyskania większej siły na haku potrzebnej dla cięższych prac uzyskuje się przez obciążenie ciągnika dodatkowym balastem jak np. przez napełnianie opon wodą. Dla pracy przy większych szybkościach balast się usuwa i uzyskuje właściwy stosunek mocy do ciężaru.

