

## BADANIA WPŁYWU UKŁADÓW NAPĘDOWYCH KÓŁ NA WIELKOŚĆ SIŁ TRAKCYJNYCH

*Remigiusz Nawrocki, Jerzy Świech*

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie  
Dyrektor: prof. dr inż. Roman Fafara

### 1. WSTĘP

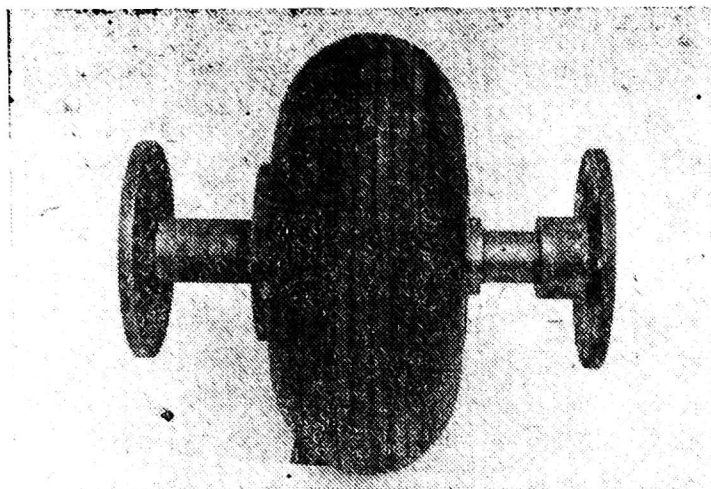
W większości pojazdów stosowane są pojedyncze koła napędowe. Niekiedy ze względu na duże obciążenia kół, trudne warunki pracy lub brak możliwości innego rozwiązania konstrukcyjnego (niska nośność opon) stosuje się koła w układzie bliźniaczym lub tandem. Układy takie spotyka się w większości pojazdów ciężarowych jako koła tylne. W ciągnikach rolniczych w celu zwiększenia powierzchni współpracy kół z podłożem stosowane są układy bliźniacze dla osi napędowych.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań wykonanych przez Pracownię Elementów Jezdnych w Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie. Celem ich była ocena wpływu układów napędowych kół na wielkość uzyskiwanych sił trakcyjnych.

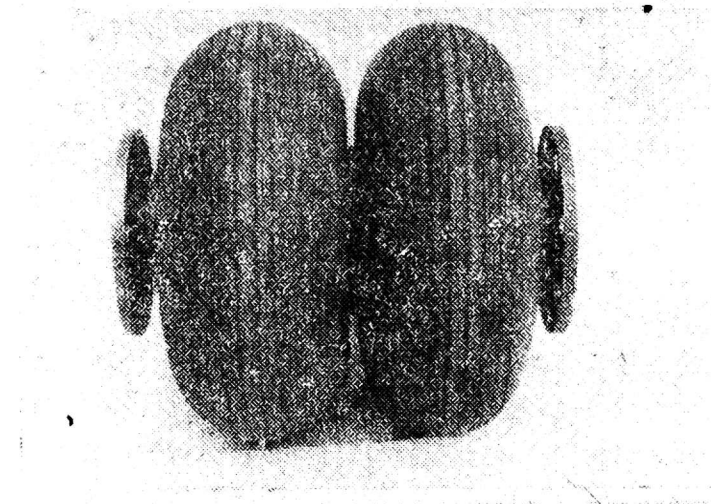
### 2. WARUNKI BADAŃ

Do badań wybrano oponę o wymiarach  $480 \times 200$  mm z bieżnikiem o rzeźbie utworzonej z niskich, ciągłych żeber obwodowych (rys. 1). Nie wielkie wymiary opony umożliwiły montowanie jej w układzie bliźniaczym i tandem (rys. 2, 3) bez konieczności wprowadzania zmian mocowania kół w urządzeniu badawczym TRAK [1] (tab. 1).

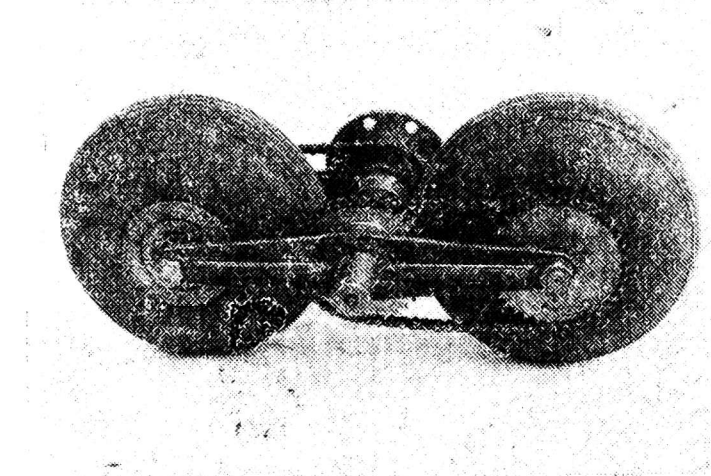
Ciśnienia i obciążenia dobrano tak, aby wielkość ugięcia jednostkowego badanych opon odpowiadała ugięciu jednostkowemu, wynikającemu z parametrów pracy opon rolniczych ( $e/D \simeq 0,05$ ). Pomiary wykonano zgodnie z metodyką stosowaną w badaniach trakcyjnych. W czasie



Rys. 1. Koło pojedyncze  
Fig. 1. Single wheel



Rys. 2. Układ bliźniaczy  
Fig. 2. Twin system



Rys. 3. Układ tandem  
Fig. 3. Tandem system

Tabela 1

Wielkość obciążeń i ciśnień stosowanych w badaniach

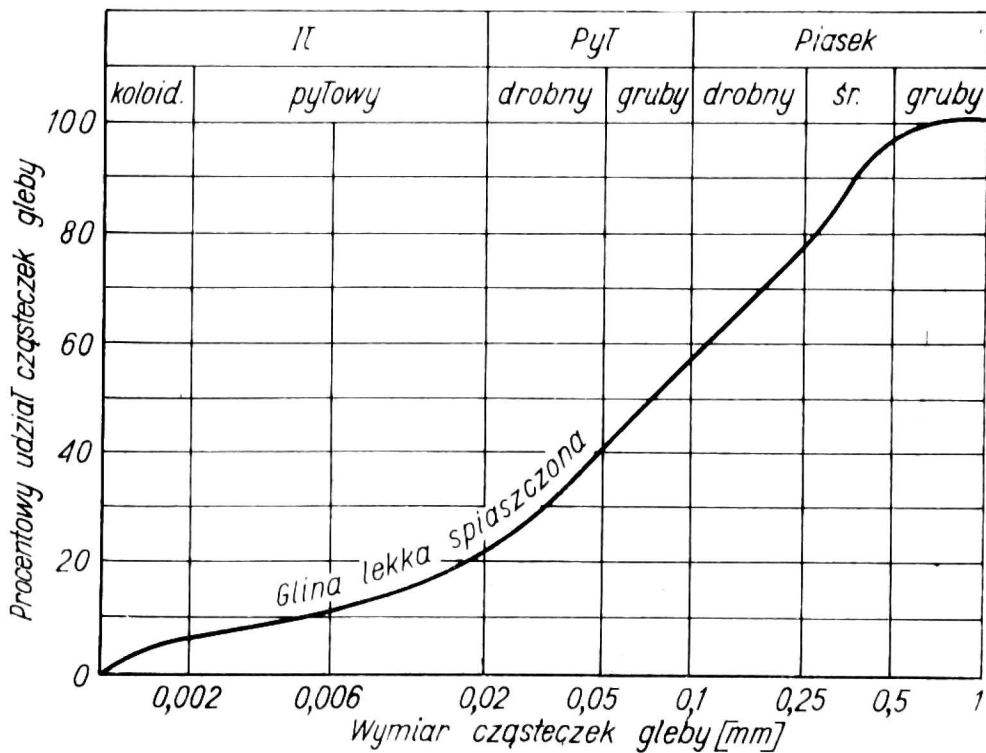
Układ opon	Ciśnienie $p_0$		Obciążenie $G$	
	kG/cm <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	kG	N
Pojedyncza	1	$9,81 \times 10^4$	150	$1,47 \times 10^3$
			300	$2,94 \times 10^3$
Układ bliźniaczy	1	$9,81 \times 10^4$	300	$2,94 \times 10^3$
Układ tandem				

pomiarów rejestrowano w funkcji poślizgu  $s$  wartości siły uciągu  $P_u$  i momentu napędowego  $M$ .

Badania wykonane były w laboratorium glebowym na kanale wypełnionym glebą należącą do grupy mechanicznej glin lekkich silnie spiaszczonych, pylastych. Skład mechaniczny gleby przedstawiono na rysunku 4. Gleba ta posiada następujące właściwości fizyczne:

- ciężar właściwy — 2,67 g/cm<sup>3</sup>,
- wodna pojemność kopilarna — 28,4% wag.,
- wodna pojemność polowa — 19,0% wag. (przy sile ssącej 0,25 atm.).

W czasie trwania badań wilgotność gleby wynosiła 9,7-10,8%. W celu zachowania niezmiennych warunków badań kontrolowano stan gleby, sprawdzając jej wilgotność oraz stopień ugniecenia penetrometrem Vicksburga [2].



Rys. 4. Skład mechaniczny gleby

Fig. 4. Mechanical composition of the tested soil

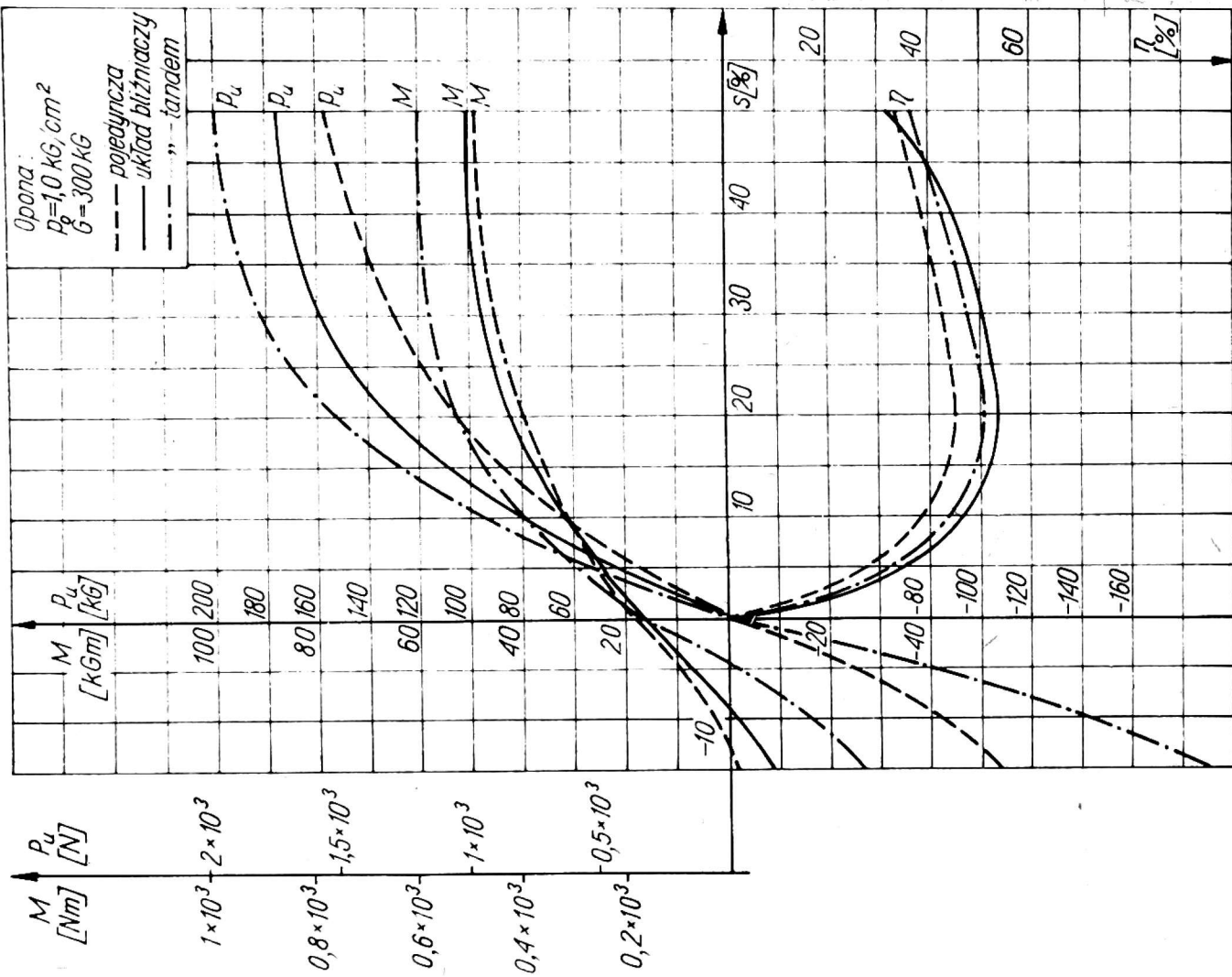
### 3. WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w postaci wykresów współzależności  $P_u = f(s)$ ;  $M = f(s)$  — rys. 5, 6 oraz  $\eta = f(\varphi)$  i  $s = f(\varphi)$  — rys. 7.

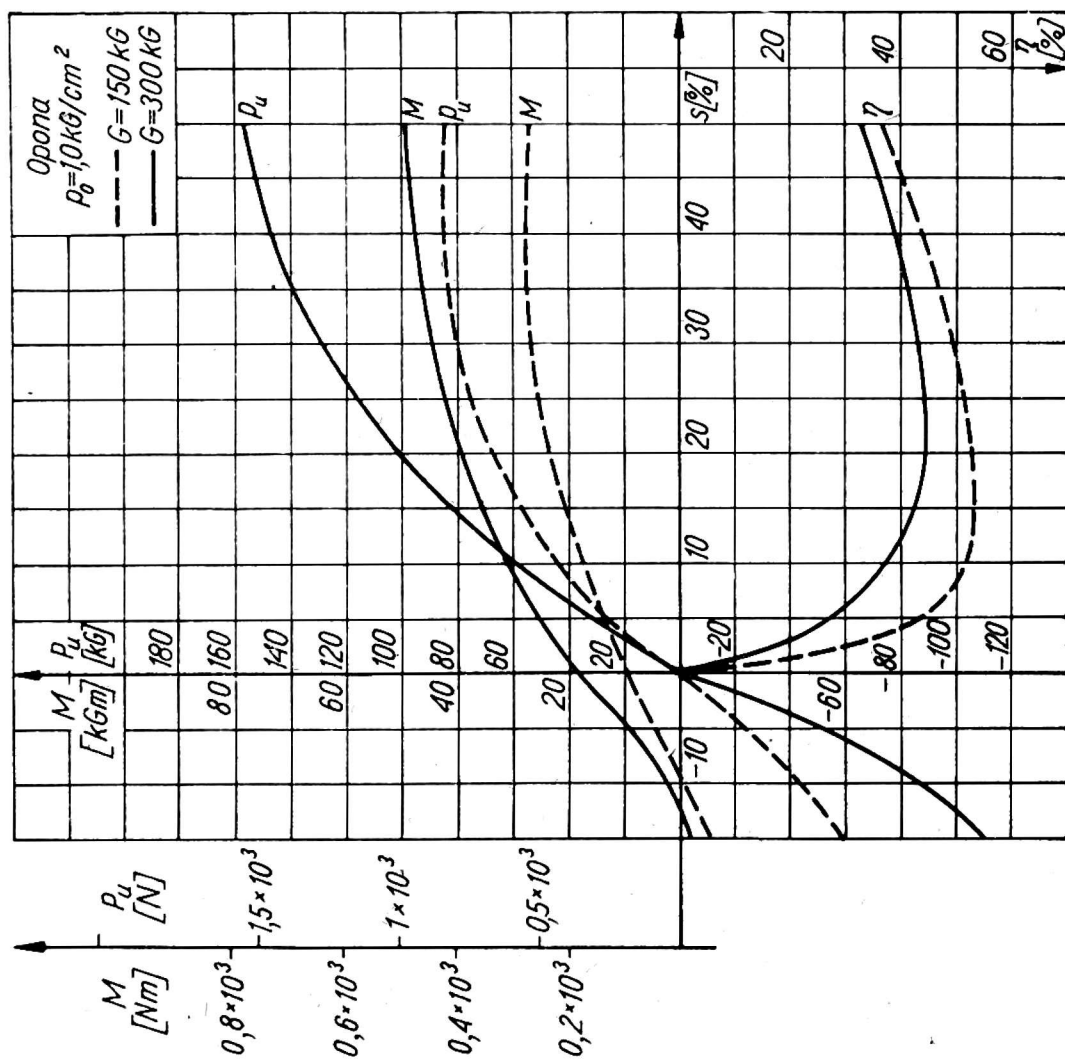
Sprawność trakcyjną obliczano zgodnie ze wzorem:

$$\eta = \frac{P_u}{M} \cdot r(1 - s)$$

gdzie  $r$  — promień toczenia,



Rys. 6. Charakterystyki trakcyjne  
 Fig. 6. Diagrams of tractive forces

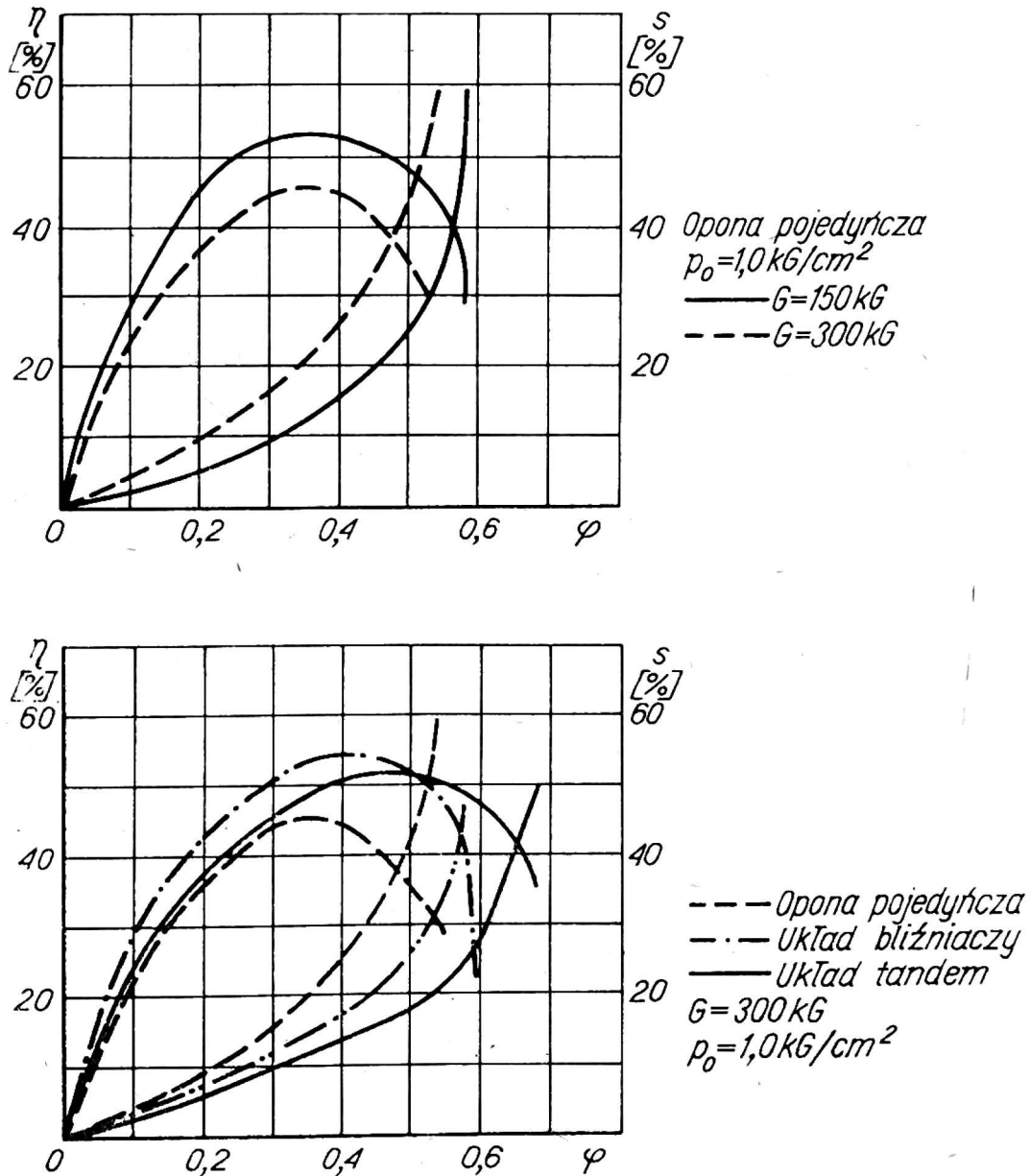


Rys. 5. Charakterystyki trakcyjne  
 Fig. 5. Diagrams of tractive forces

a jednostkową siłę uciągu ze wzoru:

$$\varphi = \frac{P_u}{G}$$

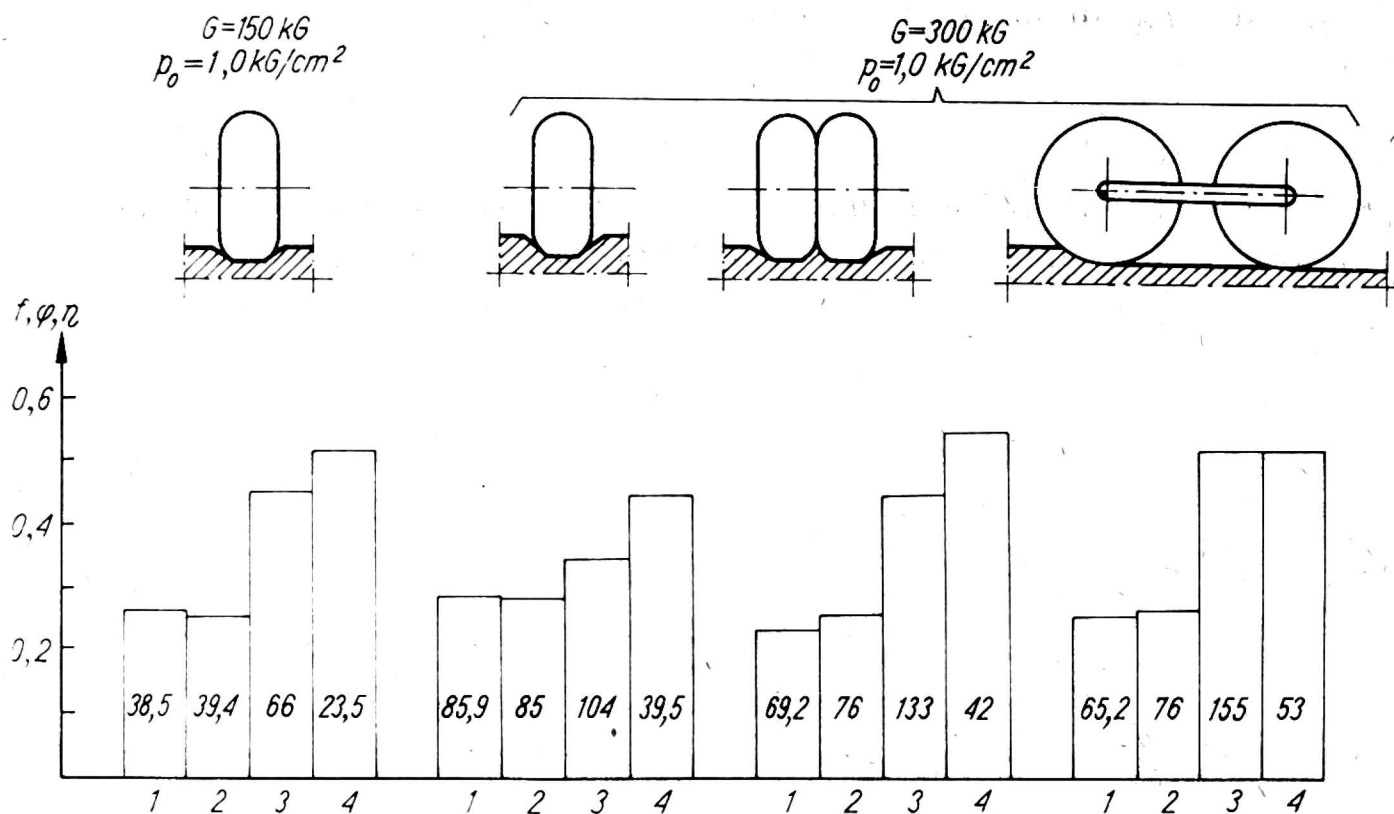
Zgodnie z obliczeniami maksymalna wartość sprawności trakcyjnej uzyskiwana jest przy poślizgu  $s \approx 20\%$ . Dlatego też porównanie wielkości uzyskiwanych w badaniach sił trakcyjnych przeprowadzono przy poślizgu  $s = 20\%$ .



Rys. 7. Wykresy współzależności  $\eta = f(\varphi)$  i  $s = f(\varphi)$

Fig. 7. Dimensionless plot of slip and tractive efficiency vs. Unitary drawbar pull

Na podstawie pomiarów i obliczeń przedstawionych w tabelach 2 i 3 (rys. 8) można wnioskować, jak na wielkość sił trakcyjnych wpływa zastąpienie napędzanego pojedynczego koła zespołem dwóch kół w układzie bliźniaczym lub tandem, przy tym samym ciśnieniu w oponie. W pierwszym przypadku na układ kół działa obciążenie dwukrotnie



Rys. 8. Nomogram porównawczy wielkości  $f$ ,  $\varphi$  i  $\eta$ ;

Wartości liczbowe na słupkach odnoszą się do wielkości sił (kG) do obliczeń  $f$  i  $\varphi$  oraz momentu (kGm) do obliczenia  $\eta$ :

- 1 —  $f$  dla  $P_u = 0$
- 2 —  $f$  dla  $M = 0$
- 3 —  $\varphi$  dla  $s = 20\%$
- 4 —  $\eta$  dla  $s = 20\%$

Fig. 8. Traction parameters measured for different driving systems of wheels

większe niż na koło pojedyncze, w drugim — na układ kół działa obciążenie identyczne jak na koło pojedyncze.

W pierwszym przypadku stwierdzono:

dla układu bliźniaczego:

— wzrost siły oporu toczenia o około 80%, przy jednoczesnym spadku wartości współczynnika oporu toczenia o ok. 18%;

— dwukrotny wzrost siły uciągu i 80% wzrost momentu napędowego;

— wzrost sprawności trakcyjnej o 7% i 2% wzrost jednostkowej siły uciągu;

dla układu tandem:

— wzrost siły oporu toczenia o ok. 70%, przy jednoczesnym spadku wartości współczynnika oporu toczenia o ok. 23%;

— wzrost siły uciągu o ok. 135%, przy jednoczesnym wzroście momentu o ok. 125%;

— wzrost sprawności trakcyjnej o ok. 2% oraz 21% wzrost jednostkowej siły uciągu.

Tabela 2

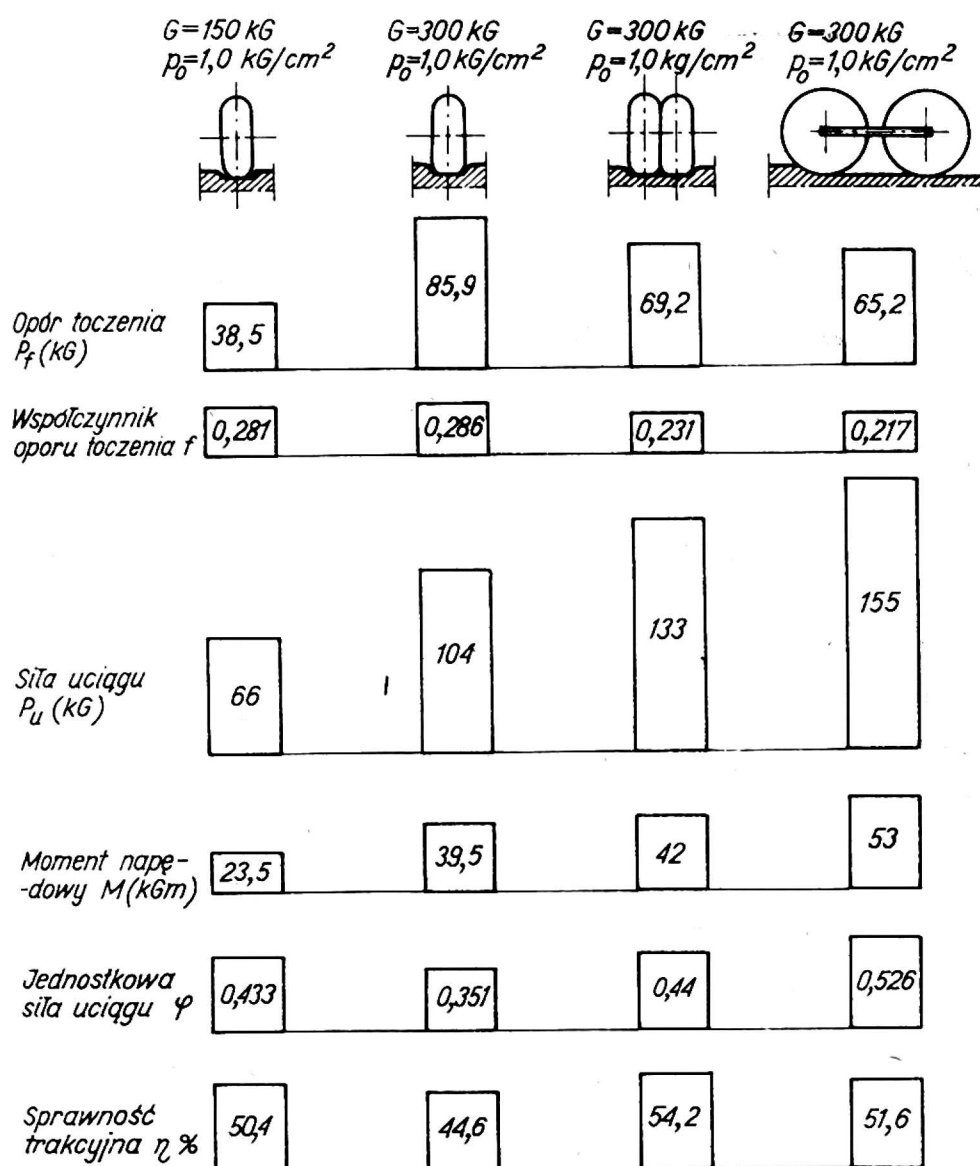
## Wyniki pomiarów i obliczeń

Układ opon	Ciśnienie $P_0$		Obciążenie $G$		Opór toczenia $P_f$		Współczynnik oporu toczenia $f$			
	$\text{kG/cm}^2$	$\text{N/m}^2$	$\text{kG}$	$\text{N}$	$\text{kG}$	$\text{N}$	$\text{kG}$	$\text{N}$		
	dla $P_u = 0$		dla $M = 0$		dla $M = 0$		dla $M = 0$			
Pojedyncza	1	$9,81 \times 10^4$	150	$1,47 \times 10^3$	38,5	$0,379 \times 10^3$	39,4	$0,387 \times 10^3$	0,281	0,264
			300	$2,94 \times 10^3$	85,9	$0,844 \times 10^3$	85	$0,835 \times 10^3$	0,286	0,283
Układ bliźniaczy	1	$9,81 \times 10^4$	300	$2,94 \times 10^3$	69,2	$0,680 \times 10^3$	76	$0,746 \times 10^3$	0,231	0,253
Układ tandem					65,2	$0,652 \times 10^3$	76	$0,746 \times 10^3$	0,217	0,253

Tabela 3

## Wyniki pomiarów i obliczeń

Układ opon	Ciśnienie $P_0$		Obciążenie $G$		Siła uciągu $P_u$		Moment $M$		Jedn. siła uciągu	Sprawność %
	$\text{kG/cm}^2$	$\text{N/m}^2$	$\text{kG}$	$\text{N}$	$\text{kG}$	$\text{N}$	$\text{kGm}$	$\text{Nm}$		
	dla $s = 20\%$		dla $s = 20\%$		dla $s = 20\%$		dla $s = 20\%$			
Pojedyncza	1	$9,81 \times 10^4$	150	$1,47 \times 10^3$	66	$0,647 \times 10^3$	23,5	$0,23 \times 10^3$	0,433	50,4
			300	$2,94 \times 10^3$	104	$1,02 \times 10^3$	39,5	$0,387 \times 10^3$	0,351	44,6
Układ bliźniaczy	1	$9,81 \times 10^4$	300	$2,94 \times 10^3$	133	$1,31 \times 10^3$	42	$0,412 \times 10^3$	0,44	54,2
Układ tandem					155	$1,52 \times 10^3$	53	$0,52 \times 10^3$	0,526	51,6



Rys. 9. Obliczeniowe i pomiarowe wyniki badań

Fig. 9. Design and test results of investigations: 1 — rolling resistance, 2 — rolling resistance coefficient, 3 — draw bar pull, 4 — torque, 5 — unitary drawbar pull, 6 — tractive efficiency

W drugim przypadku stwierdzono:

dla układu bliźniaczego:

— zmniejszenie siły oporu toczenia i współczynnika oporu toczenia o 19<sup>0</sup>/o;

— wzrost siły uciągu do ok. 28<sup>0</sup>/o i nieznaczny wzrost momentu napędowego ok. 6,8<sup>0</sup>/o;

— wzrost sprawności trakcyjnej o ok. 21<sup>0</sup>/o i 25<sup>0</sup>/o wzrost jednostkowej siły uciągu;

— dla układu tandem:

— zmniejszenie siły oporu toczenia i współczynnika oporu toczenia o 24<sup>0</sup>/o;

— wzrost siły uciągu o ok. 49<sup>0</sup>/o, przy jednoczesnym wzroście momentu o 34<sup>0</sup>/o;



— wzrost sprawności trakcyjnej o 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> oraz 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wzrost jednostkowej siły uciągu.

Porównując układ bliźniaczy z układem tandem można stwierdzić, że:

— siła oporu toczenia oraz współczynnik oporu toczenia układu bliźniaczego są o ok. 6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> większe niż dla układu tandem;

— siła uciągu układu tandem jest o ok. 17<sup>0</sup>/<sub>0</sub> większa niż bliźniaczego, natomiast moment napędowy jest większy o 26<sup>0</sup>/<sub>0</sub>;

— sprawność trakcyjna układu tandem jest o ok. 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> mniejsza niż bliźniaczego;

— jednostkowa siła uciągu układu tandem jest większa o ok. 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> niż dla układu bliźniaczego.

#### 4. WNIOSKI

W przypadku układu bliźniaczego wzrost właściwości trakcyjnych przy jednakowym obciążeniu  $G = 300 \text{ kG}$  ( $2,94 \times 10^3 \text{ N}$ ) i ciśnieniu  $p_o = 1,0 \text{ kG/cm}^2$  ( $9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ ) wynika wyłącznie z rozłożenia obciążenia na dwa koła. Układ bliźniaczy stanowi prawie dokładne odwzorowanie układu składającego się z dwóch oddzielnych kół, z których każde pracowałoby przy obciążeniu  $G = 150 \text{ kG}$  ( $1,47 \times 10^3 \text{ N}$ ) i ciśnieniu  $p_o = 1 \text{ kG/cm}^2$  ( $9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ ).

Ustawienie kół napędowych w tandem nie stanowi odwzorowania układu składającego się z dwóch oddzielnych kół, na które działa obciążenie  $G = 150 \text{ kG}$  ( $1,47 \times 10^3 \text{ N}$ ) przy ciśnieniu  $p_o = 1,0 \text{ kG/cm}^2$  ( $9,81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ ).

Układ tandem charakteryzuje się 17<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wzrostem siły uciągu w porównaniu z układem bliźniaczym. Wynika to z wykorzystania przez drugie koło zwiększonej wytrzymałości gleby ugniecionej pierwszym kołem. Dlatego też w wypadku, gdy wymagane jest uzyskanie większej siły uciągu korzystne jest stosowanie układu tandem. Wymaga to jednak większego momentu napędowego, wzrost o 26<sup>0</sup>/<sub>0</sub> w stosunku do układu bliźniaczego, co obniża sprawność trakcyjną układu tandem o ok. 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ( $\eta_{bl.} \approx 0,54$ ;  $\eta_t \approx 0,52$ ). Dlatego też, gdy chcemy uzyskać większą sprawność trakcyjną, korzystniejsze jest stosowanie opon w układzie bliźniaczym.

#### LITERATURA

1. Sołtyński A., Świech J.: The Dynamometric Carriage for Traction Elements Investigation Proceedings of Inter. Conference, "Perspectives of Agricultural Tractor Development", Sept. 17-22, 1973 Warszawa.

2. Knight S. J., Rula A. A.: Measurement and estimation of the trafficability of fine-grained soils. Mechanics of Soil-Vehicle Systems. Edizioni Minerva Tecnica. Torino 1962.

*Remigiusz Nawrocki, Jerzy Swiech*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ВЕДУЩИХ КОЛЕС НА ВЕЛИЧИНУ ТЯГОВЫХ УСИЛИЙ

### Резюме

Исследования, в которых применялись шины размерами  $480 \times 200$  мм с нагрузками и давлениями, вызывающими удельное согнутие, отвечающее согнутию сельскохозяйственных шин ( $e/D = 0,05$ ) показали, что:

1. В случае двойной системы рост тяговых свойств вытекает из распределения нагрузки на два колеса.
2. Применение системы тандем даёт возможность получить большей силы тяги, чем в двойной системе с одновременной нагрузке тягового к.п.д.

*Remigiusz Nawrocki, Jerzy Swiech*

## RESEARCH ON INFLUENCE OF DRIVING SYSTEMS OF WHEELS ON THE PERFORMANCE OF DRIVING FORCES

### Summary

A number of tires having dimension  $480 \times 200$  mm were put under load and pressure resulting in a unit deflection equivalent to a deflection of agricultural tire ( $e/D = 0,05$ ). As a result of the test it was found that:

1. For the case of twin set the increase of traction performance is implicated by the distribution of charge on both wheels.
2. By the application of tandem set major drawbar pull may be achieved than in the twin set with there decreased at the same time tractive performance.