

## **METODY POMIARU WYBRANYCH PARAMETRÓW RUCHU KÓŁ NAPĘDOWYCH CIĄGNIKA ZE WSPOMAGANIEM INFORMATYCZNYM**

Artur Szafarz, Zbigniew Błaszkiwicz

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Poznaniu*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono metody pomiarów wybranych parametrów ruchu kół napędowych ciągnika rolniczego oraz opracowania wyników ze wspomaganie informatycznym. W skład prezentowanego systemu pomiarowego wchodzi: tuleja pomiarowa z czujnikami tensometrycznymi, komputer pokładowy LH 100 i mierniki wielkości mechanicznych. System umożliwia dokonanie pomiarów siły uciągu, momentu obrotowego, obciążenia normalnego koła, poślizgu, prędkości postępowej oraz kąta obrotu koła i ich rejestrowanie w komputerze przenośnym. System pomiarowy został zastosowany praktycznie do badań parametrów ruchu kół napędowych ciągnika Zetor 5211 na glebie spulchnionej.

**Słowa kluczowe:** parametry trakcyjne koła, metody pomiarów, wspomaganie informacyjne

### **Wprowadzenie i cel pracy**

Prognozowanie osiągnięć trakcyjnych ciągników rolniczych polegające głównie na wyznaczeniu sił trakcyjnych działających na kołach napędowych jest zagadnieniem ważnym i podstawowym w technice rolniczej. Ruch ciągników rolniczych na spulchnionych glebach lekkich stwarza szczególnie duże opory toczenia obniżając efektywną siłę uciągu, co przyczynia się do ponoszenia znacznych nakładów na uprawę roli. Jak dotąd nauka i praktyka rolnicza nie dysponuje dobrymi modelami do prognozowania parametrów trakcyjnych opon poruszających się w tych warunkach. W Instytucie Inżynierii Rolniczej opracowano nowe modele do tych celów wymagające jednak weryfikacji empirycznej. Przeprowadzenie weryfikacji obejmuje przede wszystkim dokonanie pomiarów w warunkach polowych głównie takich parametrów trakcyjnych jak: siła uciągu, moment obrotowy koła czy obciążenie dynamiczne kół ciągnika rolniczego. Jednocześnie niezbędne jest wyznaczenie innych parametrów ruchu kół, takich jak: poślizg kół, prędkość postępową i kątową kół czy kąt obrotu koła. Uzyskanie zadowalających wyników badań w ruchu ciągłym oraz opracowanie ich ogromnej ilości wymaga wspomaganie techniki komputerowej.

W niniejszej pracy przedstawiono metody pomiaru wybranych parametrów ruchu kół napędowych ciągnika rolniczego oraz opracowania wyników ze wspomaganie informatycznym.

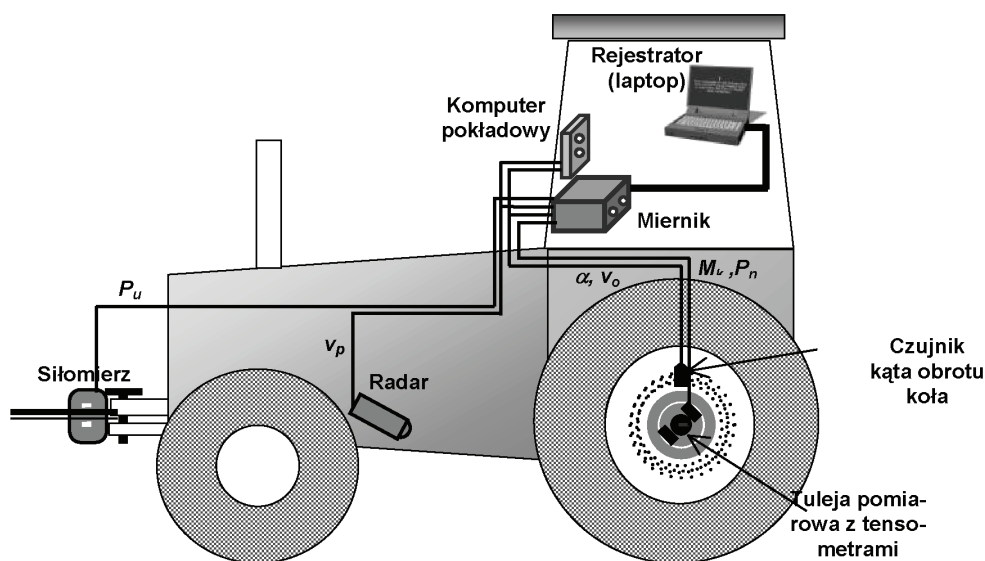
### Opis stanowiska pomiarowego

Stanowiskiem pomiarowym był ciągnik Zetor 5211 wyposażony w oprzyrządowanie pomiarowe, aparaturę rejestrującą, która współpracuje z komputerem pomiarowym oraz w komputer pokładowy LH 100 (rys. 1). Głównymi elementami zestawu pomiarowego są:

- skonstruowana przystawka pomiarowa wyposażona w czujniki pomiarowe,
- miernik analogowy siły uciągu WT-1,
- miernik wielkości mierzonych ALFA 1000:  $P_u$ ,  $M_o$ ,  $W_s$ ,
- komputer rejestrujący typu laptop,
- komputer pokładowy LH 100 wraz z radarem.

Na stanowisku pomiarowym mierzone są takie wielkości jak:

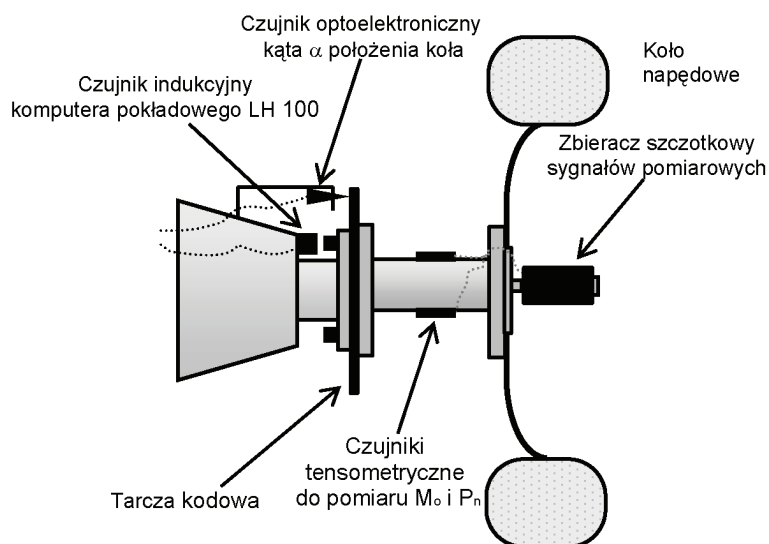
- moment napędowy koła  $M_k$  [ $N \cdot m$ ],
- siła normalna dynamiczna obciążająca koło  $W_s$  [kN],
- siła uciągu ciągnika  $P_u$  [kN],
- poślizg koła  $s$  [%],
- prędkość postępową ciągnika  $V_p$  [ $m \cdot s^{-1}$ ],
- kąt obrotu koła  $\alpha$  [rad],
- i prędkość kątową koła  $\omega$  [ $rad \cdot s^{-1}$ ].



Rys. 1. Oprzyrządowanie i aparatura pomiarowa na ciągniku  
 Fig. 1. Measure system at the tractor

Oprzyrządowanie stanowi tuleja pomiarowa zamontowana do pólasi koła napędowego ciągnika, do której zamontowano tarczę koła napędowego (rys. 2). Przystawka jest wyposażona w następujące czujniki:

- czujniki tensometryczne (tensometry foliowe TENMEX) reagujące na skręcanie pólasi (pomiar  $M_o$ ) połączone w układzie pełnego mostka,
- czujniki tensometryczne reagujące na zginanie pólasi (pomiar  $P_n$ ) połączone w układzie półmostka,
- czujnik do pomiaru kąta obrotu koła,
- na tej samej pólasi zamocowane były również czujniki indukcyjne komputera pokładowego do pomiaru prędkości postępowej i poślizgu koła.



Rys. 2. Schemat kołnierzej tulei pomiarowej i zamontowanych na niej czujników  
Fig. 2. The scheme of the measure neck bush with tensometers and sensors

Zastosowany miernik wielkości mechanicznych ALFA 1000 (wykonany przez firmę Sensor-AT Poznań) umożliwia pomiar takich wielkości jak: moment obrotowy koła  $M_o$ , siła normalna działająca na koło  $P_n$ , kąt obrotu koła  $\alpha$ , siły uciągu  $P_u$ , prędkości postępowej ciągnika  $V_p$ , a pośrednio służy do wyznaczenia: prędkości obwodowej koła  $V_p$  i poślizgu koła  $s$ . Posiadając wyświetlacz umożliwia ciągłą obserwację mierzonych wielkości. Omawiany miernik jest analogowo-cyfrowy, wyposażony w mikroprocesory i posiada 5 kanałów pomiarowych oraz wzmacniacz sygnałów (częstotliwość próbkowania wynosi  $1 \div 1500$  Hz). Pamięć EEPROM służy do zapamiętywania nastaw typu aktywnego przetwornika, nastawionej częstotliwości próbkowania i parametrów przetworników. Miernik posiada wyświetlacz ciekłokrystaliczny  $2 \times 16$  znaków, ma możliwość przesyłania sygnałów wyjściowych w postaci cyfrowej do komputera poprzez łącze R232 i skalowania miernika

z dokładnością 0,1%. W zbudowanym układzie pomiarowym niezamierzony wpływ siły zginającej tuleję pomiarową na moment obrotowy jest mniejszy niż 1%.

### **Komputerowe wspomaganie badań**

Rejestrację wyników pomiarów w komputerze personalnym podłączonym przewodowo wspomaga dołączony przez producenta miernika program komputerowy ALFA. Program umożliwia rejestrację pomiarów przesyłanych do komputera portem RS232. Posiada prosty, intuicyjny w obsłudze interfejs. Dane pomiarowe zapisywane są w plikach tekstowych. Program umożliwia również wizualizację oraz wydruk zarejestrowanych wyników pomiarów.

### **Kalibracja aparatury pomiarowej**

Przed pomiarami dokonuje się kalibracji układu pomiarowego. Do ważniejszych należy ustawienie i sprawdzenie układu zwłaszcza w zakresie pomiaru siły uciągu, momentu obrotowego i siły normalnej koła dla uzyskiwania zadowalająco dokładnych wyników pomiarów. Kalibracji momentu obrotowego koła dokonano za pomocą dźwigni zamocowanej do tulei poddanej działaniu kontrolowanym siłom mierzonym za pomocą siłomierza dla uzyskiwania określonych wartości momentu obrotowego koła. Podobnie postępowano w zakresie sprawdzenia dokładności pomiaru siły normalnej obciążającej koło, gdzie tuleję obciążano znaną siłą pionową, a w przypadku pomiaru siły uciągu siłą poziomą.

### **Zastosowanie oprzyrządowania i aparatury w pomiarach polowych i uzyskane wyniki**

Omówioną aparaturę i oprzyrządowanie zastosowano do badań kół napędowych, wyposażonych w opony 14.9/13-28, ciągnika rolniczego ZETOR 5211. Badania przeprowadzono na spulchnionej glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o wilgotności wagowej 8,4% i przy gęstości objętościowej gleby  $1,34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Obciążenie statyczne badanej opony wynosiło 9,8 kN, a ciśnienie wewnętrzne 75 kPa. Badania przeprowadzono hamując ciągnik z badaną oponą poruszający się do tyłu, w zakresie poślizgu koła od 0 do 80%.

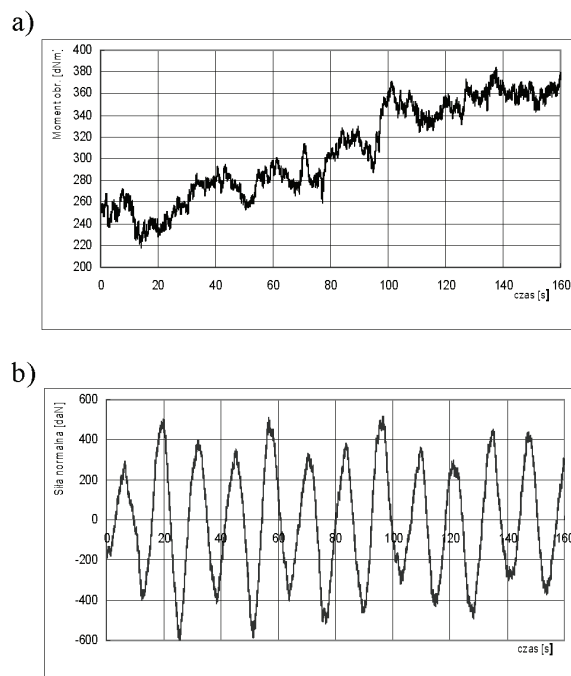
Podczas badań stosowano następujące parametry aparatury dla pomiarów  $M_o$ ,  $P_u$  i  $P_n$ :

- czas jednej serii pomiaru 160 s,
- częstotliwość próbkowania 200 próbek/s co daje 32000 próbek dla każdej z 5 mierzonych wielkości,
- przyjęty rozmiar macierzy wyników: 32.000 x 6.

Podczas pomiarów wielkości mierzone są rejestrowane w komputerze personalnym.

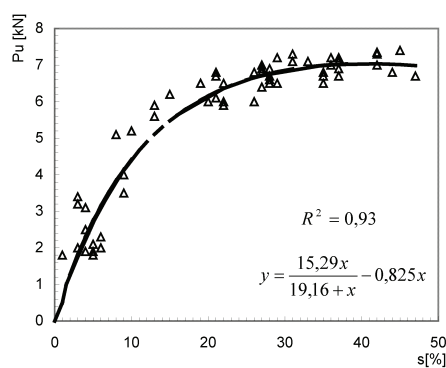
### **Opracowanie wyników pomiarów**

Do uśredniania zarejestrowanych wyników pomiarów momentu obrotowego, siły uciągu i siły normalnej zastosowano program komputerowy Matlab (wersja 6.5). Wyniki pomiarów tych wielkości są uśredniane za pomocą opracowanych skryptów uśredniających w przyjętych przedziałach poślizgu koła, które wynosiły w prezentowanych pomiarach 1%. Przykładowe zapisane wyniki pomiarów w postaci wykresów przedstawiono na rys. 3.

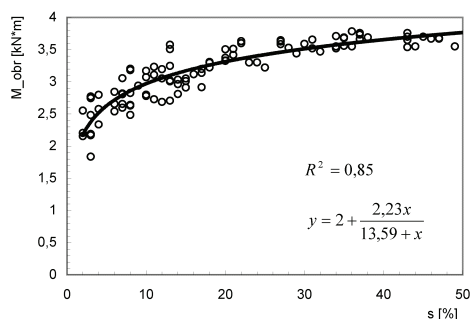


Rys. 3. Wykresy przedstawiające zarejestrowane przebiegi zmian: a) momentu obrotowego koła, b) siły normalnej działającej na koło w miejscu zamocowania czujników  
 Fig. 3. Diagrams of the courses: a) – of the torque moment of the wheel, b) - of the dynamic normal load of the wheel in the location places of the tensometers.

Uzyskane wyniki pomiarów  $P_u$  i  $M_o$  są przedstawiane na wykresach (Rys. 4 i 5) w zależności od poślizgu koła. Dobór krzywych aproksymujących wyniki pomiarów dokonano za pomocą programu SigmaPlot 5.0.



Rys. 4. Opracowane wyniki pomiaru siły uciągu koła napędowego ciągnika w zależności od jego poślizgu  
 Fig. 4. The elaborated results of the drawbar-pull of the driving wheel of the tractor dependent on the slip



Rys. 5. Przykład opracowanych wyników pomiaru momentu obrotowego koła napędowego ciągnika w zależności od jego poślizgu

Fig. 5. The elaborated results of the torque moment of the driving wheel of the tractor dependent on the slip

### Wyznaczenie pionowego obciążenia koła

Tensometry umieszczone na tulei pomiarowej wraz z jej obrotem rejestrują zmiany obciążenia koła w postaci sinusoidy. Maksymalne siła normalna działająca na oś napędową nie występuje w pionowej osi koła, ale działa na półoś pod pewnym nieznanym kątem do pionowej osi koła wskutek niezamierzonego w tym przypadku oddziaływania na oś napędową (tuleję pomiarową) również siły uciągu. Dlatego też dokonuje się równocześnie pomiaru kąta obrotu koła w tym samym czasie, co sił normalnych, uzyskując przebieg zmian siły zginającej półoś dla różnych kątów obrotu koła. Taki sposób zapisu umożliwia bezpośredni odczyt wartości siły normalnej w pionowej osi koła z wykresu.

### Omówienie

Zaprezentowane metody pomiarów i aparatura zostały praktycznie zastosowane w badaniach polowych siły uciągu, momentu obrotowego i sił normalnych kół napędowych ciągnika Zetor 5211. Pomiar siły uciągu dla całego ciągnika za pomocą omawianej aparatury jest bezpośredni, odczytywany z uzyskanych wyników pomiarów. Jeśli jednak wymagany jest pomiar siły uciągu tylko dla kół napędowych to należy uwzględnić w pomiarach opory toczenia kół przednich. W analizowanym przypadku ciągnik pomiarowy poruszał się do tyłu i był hamowany podczas badań innym ciągnikiem. Podczas eksperymentu nie mierzono bezpośrednio oporu toczenia kół przednich. Pomiar oporu toczenia kół przednich dokonuje się jednak za pomocą innego stanowiska pomiarowego, gdzie uzyskuje się zależność tego oporu od obciążenia kół. Następnie do uzyskanych wyników pomiarów siły uciągu dodano odpowiednią dla ich obciążenia wartość. Analiza uzyskanych wyników pomiarów wskazała na prawidłowe działanie aparatury, jej funkcjonalność i wystarczającą dokładność. Zestaw pomiarowy umożliwia prowadzenie pomiarów w sposób ciągły pozwalając na monitorowanie uzyskiwanych wyników, a wskutek tego na kontrolowane sterowanie ciągnikiem dla uzyskiwania różnych założonych wartości mierzonych.

Słabym punktem układu pomiarowego jest brak możliwości bezpośredniego pomiaru oporu toczenia badanych kół napędowych. Przyjmując jednak z pewnym przybliżeniem,

że opór ten jest stały można go wyznaczyć za pomocą omawianej aparatury przez przeciąganie ciągnika. Dodając go do wartości zmierzonej siły uciągu z pewnym przybliżeniem można oszacować wywołowaną siłę jazdy przez badane koło napędowe.

Omawiany zestaw pomiarowy jest aktualnie stosowany i sprawdzany w badaniach sił trakcyjnych różnych kół napędowych ciągników rolniczych przy zmiennych ich parametrach techniczno-eksploatacyjnych na spulchnionych glebach lekkich.

## Podsumowanie

Omówione metody pomiarowe mogą być stosowane do badań sił trakcyjnych całego ciągnika, a także tylko do badań jego kół napędowych. Zastosowana aparatura umożliwiła uzyskanie założonych parametrów pomiarowych podczas badań sił trakcyjnych kół napędowych ciągnika. Wspomagająca badania technika komputerowa umożliwiła monitorowanie uzyskiwanych parametrów badań w czasie pomiaru i wybór wartości wielkości niezależnych. Umożliwia rejestrację danych z dużą częstotliwością (0,005 s), polepsza funkcjonalność badań oraz ułatwia opracowanie ogromnej bazy wyników oraz ich analizę.

## THE MEASUREMENT METHODS OF THE WHEEL MOTION PARAMETERS WITH SUPPORT INFORMATION TECHNICIS

**Summary.** In this work the methods and apparatuses for the measure of the selected wheel motion parameters and for the elaboration of the investigation results using information techniques were presented. This system consists in the neck bush with the tensometers, board computer LH 100 and the analogue-digital meters of the mechanical values of the wheel. This apparatus measures the following wheel parameters: drawbar-pull force, torque moment, dynamic normal load, slip, forward velocity and angle of the tyre rotation. The numerous investigation results are recorded in the laptop and are elaborated using various computer programs. This measure system was used in the investigation of the driving wheel of the tractor Zetor 5211 on the cultivated soil.

**Key words:** traction parameters of the wheel, measurement methods, information support

### Adres do korespondencji:

Artur Szafarz; e-mail: [aszafarz@au.poznan.pl](mailto:aszafarz@au.poznan.pl)  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 50  
60-627 Poznań