

BADANIA DYNAMICZNEGO OBCIĄŻENIA NORMALNEGO KÓŁ NAPĘDOWYCH CIĄGNIKA

Zbigniew Błaszkiwicz, Artur Szafarz

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki polowych badań dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych ciągnika, stanowiącego stanowisko pomiarowe, mierzonego za pomocą specjalnej tulei pomiarowej i oprzyrządowania na glebie spulchnionej. Wykazano, że dynamiczne obciążenie normalne opon napędowych 14.9-28 i 13.6-36 zmienia się pod wpływem siły uciągu nawet o około 15%. Zastosowana uproszczona metoda obliczeniowa odwzorowuje doświadczalne zmiany dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych, ale daje wyniki niższe o około 10%.

Słowa kluczowe: ciągnik, siła uciągu, koła napędowe, dynamiczne obciążenie normalne

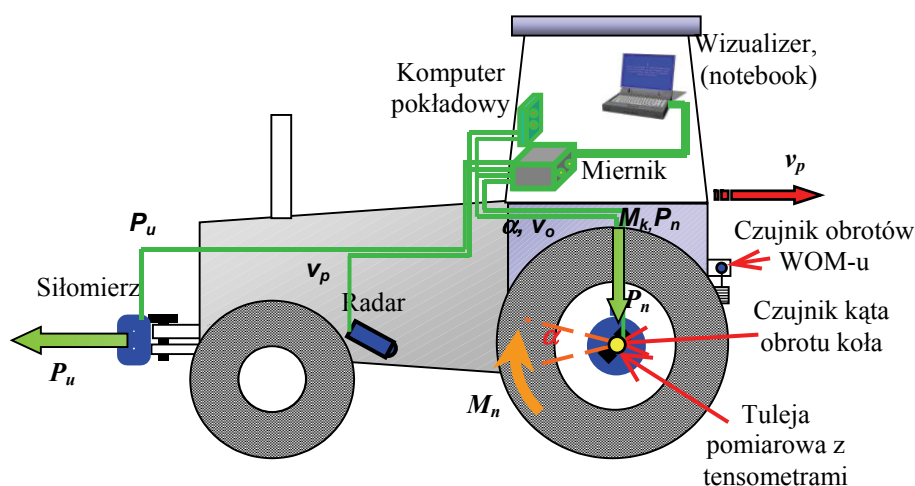
Wstęp i cel pracy

Podczas rozwijania siły uciągu ciągnika zmienia się jednocześnie obciążenie normalne jego kół napędowych oraz kół prowadzących. Jest to poważne utrudnienie w przypadku prowadzenia mniej kosztownych badań parametrów trakcyjnych kół napędowych za pomocą seryjnego ciągnika rolniczego. Ma to również znaczenie w przypadku, gdy chcemy dokonać weryfikacji modeli trakcyjnych do prognozowania siły uciągu oraz oporu toczenia kół ciągnika dla określonego wprowadzanego do modelu obciążenia normalnego. Wyznaczenie normalnego obciążenia dynamicznego kół można dokonać metodą obliczeniową z małym nakładem sił i środków, ale z pewnym przybliżeniem, lub metodami doświadczalnymi, które są bardzo złożone i kosztowne [Wong 2001]. Dlatego powstaje pytanie czy przybliżona metoda obliczeniowa jest dokładna, w porównaniu do metody doświadczalnej, zastosowanej do określonego ciągnika rolniczego. Takie porównanie jest możliwe do wykonania za pomocą stanowiska pomiarowego zbudowanego w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, przeznaczonego do polowych badań sił trakcyjnych kół napędowych [Szafarz, Błaszkiwicz 2007].

Celem niniejszej pracy jest określenie dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych ciągnika, stanowiącego stanowisko pomiarowe, zmienianego pod wpływem siły uciągu oraz dokonanie porównania tych zmian z uzyskanymi uproszczoną metodą obliczeniową.

Doświadczalna metoda pomiarów obciążenia dynamicznego koła napędowego

Badania przeprowadzono na glebie lekkiej, o składzie frakcyjnym piasku gliniastego lekkiego i o wilgotności w warstwie ornej 7,3-7,9%, spulchnionej podczas orki na głębokość do 25 cm. Pomiary dynamicznego obciążenia normalnego opon przeprowadzono za pomocą stanowiska pomiarowego, zbudowanego na bazie ciągnika Zetor 5211 o mocy 35 kW, wyposażonego w oprzyrządowanie pomiarowe, aparaturę rejestrującą oraz komputer pokładowy (rys. 1). Dokładny opis stanowiska został przedstawiony w innej pracy (Szafarz, Błaszkievicz 2007), jednak jego ważne elementy dla uzyskiwania dynamicznych sił normalnych zostały przedstawione szczegółowiej. Siłę uciagu ciągnika mierzono za pomocą siłomierza DiR3, produkcji PIMR, o zakresie pomiarowym 0-3 kN. Siłę normalną działającą na koło mierzono za pomocą tulei pomiarowej z tensometrami, zamontowanej pomiędzy tylną osią napędową ciągnika a kołem, natomiast położenie tensometrów podczas obrotu koła mierzono za pomocą czujnika kąta obrotu koła zamontowanego na tulei pomiarowej. Zbierak szczotkowy sygnałów pomiarowych umożliwiał przeniesienie sygnałów z obracającego się koła do komputera pomiarowego. Pomiary realizowano podczas 5 przejazdów wzdłuż odcinka pomiarowego z rejestracją sił co 0,05 s.

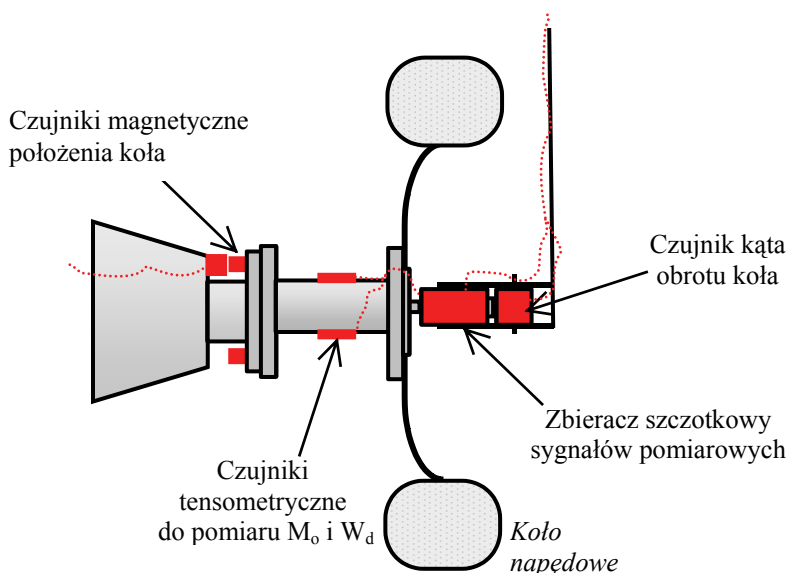


Rys. 1. Oprzyrządowanie badawcze ciągnika Zetor 5211

Fig. 1. Testing instrumentation of Zetor 5211 tractor

Poślizg kół napędowych określono na podstawie impulsów generowanych przez radar Dickey-John (pomiar drogi rzeczywistej) oraz impulsów czujnika zamontowanego na WOM (pomiar drogi teoretycznej). Do rejestracji i przetwarzania danych zastosowano 5-kanalowy miernik wielkości mechanicznych ALFA 1000. Obciążenie statyczne kół przednich i tylnych oraz ciężar ciągnika mierzono podwieszając odpowiednio przednią lub tylną oś na wadze wskazówkowej z wykorzystaniem suwnicy dźwigowej. Dwa czujniki

tensometryczne (tensometry foliowe TENMEX) były umieszczone naprzeciwległe na tulei pomiarowej (rys. 2), reagujące na zginanie półosi, były połączone w układzie pełnego mostka i pozwalały na pomiar normalnej siły dynamicznej. Lokalizacja tej siły na obwodzie koła dokonywana czujnikiem pomiaru kąta obrotu pozwalała na bezpośrednie odczytywanie w komputerze rejestrującym wartości sił pionowych obciążających półoś napędową. Pionowe obciążenia opony uzyskiwano po uwzględnieniu ciężaru koła. Dodatkowe cztery czujniki tensometryczne umieszczone na tulei naprzeciwległe, reagujące na skręcanie półosi, pozwalały na jednoczesny pomiar momentu obrotowego koła. Dokładność pomiaru obciążenia dynamicznego przy użyciu miernika wynosiła $\pm 0,2\%$, a dokładność pomiaru kąta obrotu koła przy użyciu potencjometru obrotowego wynosiła $\pm 0,3\%$ ($\pm 1,08^\circ$).



Rys. 2. Schemat oprzyrządowania tulei pomiarowej
Fig. 2. Measurement sleeve instrumentation diagram

Podczas pomiarów ciągnik pomiarowy poruszał się do tyłu i był hamowany poprzez linę innym ciągnikiem. Ten rodzaj ruchu był założony dla wyeliminowania wpływu kolein kół przednich na wyniki badań opon napędowych. Zmiany obciążenia dynamicznego badano w zależności od poślizgu koła dla dwóch opon napędowych: dla opony 14.9-28 przy obciążeniu statycznym 9,2 kN oraz dla opony 13.6-36 przy obciążeniu statycznym 9,6 kN. Pomiary przeprowadzono przy stałym ciśnieniu wewnętrznym 80 kPa i z ustawieniem bieżnika odpowiednio do kierunku ruchu.

Metoda obliczeniowa dynamicznego obciążenia normalnego koła

Dynamiczne obciążenie normalne koła napędowego wyznaczono uproszczoną metodą analityczną ze wzoru wyprowadzonego z równowagi sił i momentów sił działających na ciągnik. Obliczeń dokonano na podstawie wymiarów geometrycznych ciągnika, jego obciążenia i rozwijanej siły uciągu z następującego wzoru:

$$R_t = \frac{-P_u \cdot h_u + G \cdot b}{b + c} \quad (1)$$

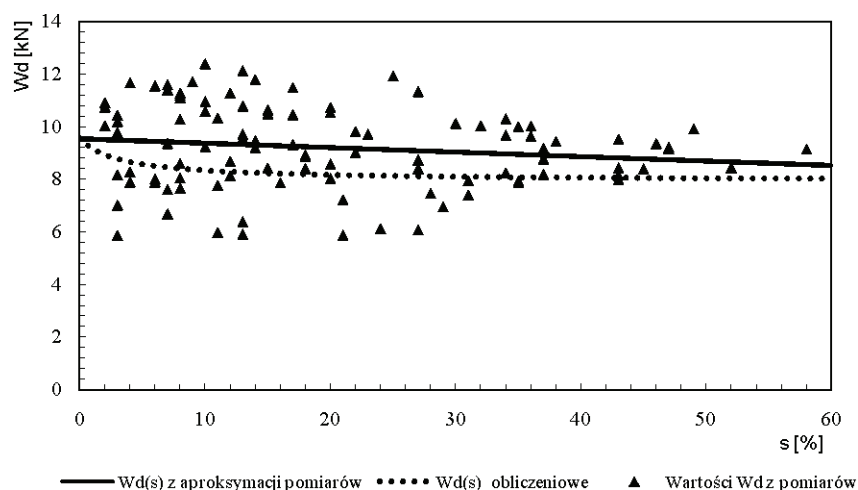
gdzie:

- P_u – siła uciągu ciągnika [kN],
- G – ciężar ciągnika [kN],
- R_t – dynamiczne obciążenie normalne koła [kN],
- b – odległość pozioma wypadkowej siły ciężaru ciągnika od osi tylnej ciągnika [m]
- c – odległość pozioma wypadkowej siły ciężaru ciągnika od osi przedniej ciągnika [m],
- h_u – wysokość położenia zaczepu polowego ciągnika [m].

Doświadczalne i obliczeniowe zależności dynamicznego obciążenia normalnego badanych opon kół napędowych od ich poślizgu przedstawiono na rysunkach 3 i 5, a obliczone lokalne i globalne błędy względne [Błaszkievicz 1997] dla tych zależności odpowiednio na rysunkach 4 i 6.

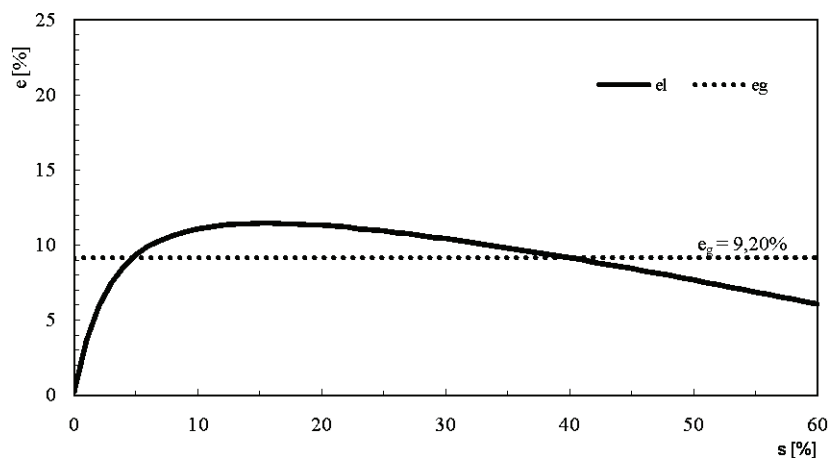
Wyniki badań i ich omówienie

Przeprowadzone badania polowe wykazały zmiany dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych badanego ciągnika zachodzące pod wpływem rozwijanej siły uciągu. Hamowanie podczas badań ciągnika pomiarowego poruszającego się do tyłu powodowało zmniejszanie obciążenia normalnego jego kół napędowych. Obciążenie normalne koła napędowego wyposażonego w oponę napędową 14.9-28 zmieniało się maksymalnie o około 1,5 kN (rys. 3). W przypadku zastosowania opony napędowej 13.6-36, przy obciążeniu statycznym 9,6 kN, dynamiczne obciążenie normalne koła napędowego zmieniało się o około 0,5 kN. Te wyniki badań wybranych opon pozwalają na wskazanie, że wykazane zmiany obciążenia normalnego kół napędowych wynoszą około 15% ich obciążenia statycznego i raczej nie powinny być pomijane w badaniach lub obliczeniach sił trakcyjnych. Potrzeba ich uwzględniania wymusza zatem konieczność wyznaczania wielkości zmian dynamicznego obciążenia kół napędowych w warunkach występowania sił uciągu.



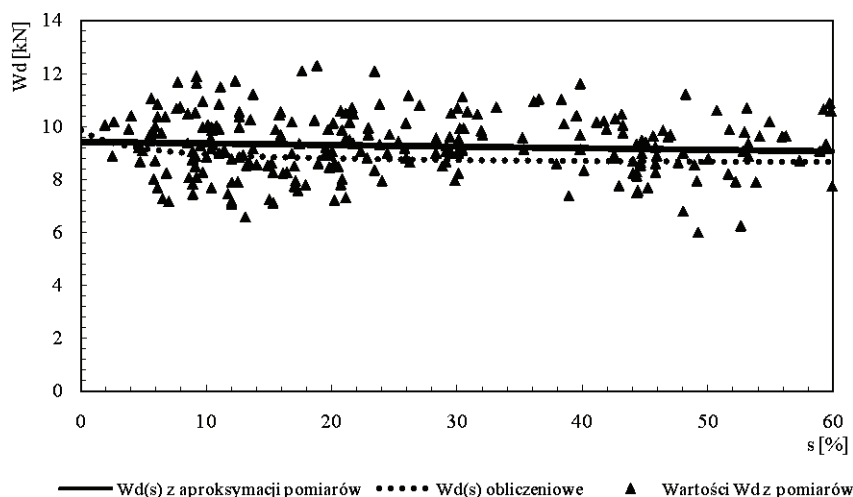
Rys. 3. Zależność dynamicznego obciążenia normalnego W_d opony napędowej 14.9-28 ($W_s = 9,2$ kN) ciągnika Zetor 5211 od jego poślizgu s

Fig. 3. Relationship between dynamic normal load W_d upon drive tyre 14.9-28 ($W_s = 9.2$ kN) of Zetor 5211 tractor and its slide s

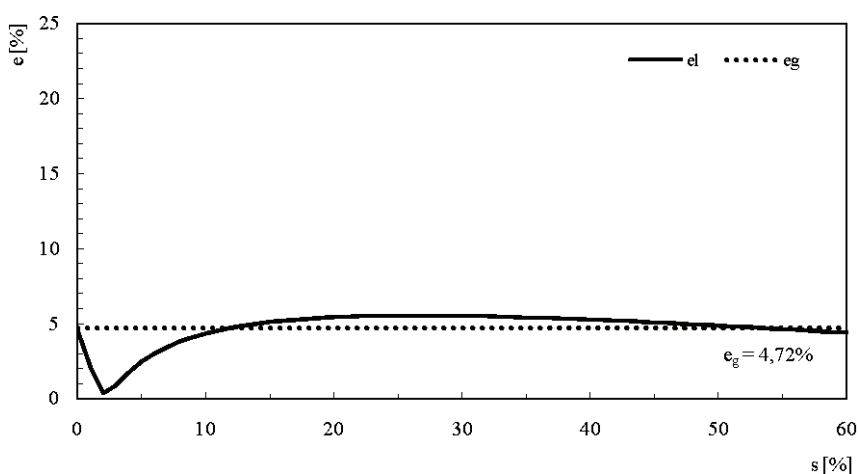


Rys. 4. Rozkład lokalnego błędu względnego e_l i globalny błąd względny e_g aproksymacji wyników pomiarów polowych obciążenia normalnego W_d koła napędowego wynikami uzyskanymi z obliczeń symulacyjnych dla zależności $W_d(s)$ dla opony 14.9-28

Fig. 4. Distribution of local relative error e_l and global relative error e_g in approximation of field measurement results for normal load W_d upon drive tyre using results obtained from simulation computations for relation $W_d(s)$ for tyre 14.9-28



Rys. 5. Zależność dynamicznego obciążenia normalnego W_d opony napędowej 13.6-36 ($W_s = 9,6$ kN) ciągnika Zetor 5211 od jego poślizgu s
 Fig. 5. Relationship between dynamic normal load W_d upon drive tyre 13.6-36 ($W_s = 9,6$ kN) of Zetor 5211 tractor and its slide s



Rys. 6. Rozkład lokalnego błędu względnego e_l i globalny błąd względny e_g aproksymacji wyników pomiarów polowych obciążenia normalnego W_d koła napędowego wynikami uzyskanymi z obliczeń symulacyjnych dla zależności $W_d(s)$ dla opony 13.6-36
 Fig. 6. Distribution of local relative error e_l and global relative error e_g in approximation of field measurement results for normal load W_d upon drive tyre using results obtained from simulation computations for relation $W_d(s)$ for tyre 13.6-36

Z analizy rys. 3 i 5 wynika, że sprawdzana w eksperymencie uproszczona metoda analityczna odzwierciedla doświadczalne zmiany dynamicznego obciążenia normalnego koła napędowego badanego ciągnika. Uzyskane wartości z obliczeń są jednak mniejsze od uzyskanych doświadczalnie do około 10%. Globalny błąd względny dla opony 14.9-28 wynosi nieco powyżej 9%, a dla opony 13.6-36 około 5%. Z rysunków powyższych wynika także, że w zakresie poślizgu kół powyżej 5% lokalne błędy aproksymacji nie różnią się znacznie od wartości błędów globalnych. Można zatem ogólnie wskazać na przydatność zastosowanej metody obliczeń dla uściślenia zmian obciążenia kół napędowych ciągnika. Uzyskane wyniki odnoszą się jednak do wybranych opon napędowych i warunków badań, wskazując na kontynuowanie badań dla uzyskania przydatnych praktycznie ogólnych stwierdzeń.

Wnioski

Dla warunków niniejszych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zmiany dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych ciągnika, stanowiącego stanowisko pomiarowe, powodowane rozwijaną siłą uciągu są znaczne i mogą wynosić nawet powyżej 15% wartości obciążenia statycznego.
2. Zastosowana uproszczona metoda analityczna odwzorowuje zmiany dynamicznego obciążenia normalnego kół napędowych badanego ciągnika, powodowane rozwijaną siłą uciągu, i jest dość dokładna charakteryzując się globalnym błędem względnym mniejszym od 10%.

Bibliografia

- Błaszkiwicz Z.** 1997. Badania wpływu wybranych parametrów opon rolniczych na ugniatanie gleby. Rozprawy naukowe. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Z. 271.
- Szafarz A., Błaszkiwicz Z.** 2007. Metody pomiaru wybranych parametrów ruchu kół napędowych ciągnika ze wspomaganie informatycznym. Inżynieria Rolnicza. Nr. 2(90). s. 301-307.
- Wong J.Y.** 2001. Theory of ground vehicles. Third edition by John Wiley & Sons, Inc. ISBN 9780470170380.

TESTS OF DYNAMIC NORMAL LOAD FOR TRACTOR DRIVE WHEELS

Abstract. The paper presents results of field tests on dynamic normal load upon drive wheels of tractor making measuring position. The load was measured on a loosened soil using special measurement sleeve and instrumentation. It has been proven that dynamic normal load for drive tyres (14.9-28 and 13.6-36) changes under the influence of pull force up to ca. 15%. Employed simplified computational method represents empirical changes in dynamic normal load upon drive wheels, however its results are approximately 10% lower.

Key words: tractor, pull force, drive wheels, dynamic normal load

Adres do korespondencji:

Zbigniew Błaszkievicz; e-mail: zbigniewblaszkiewicz@up.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Ul. Wojska Polskiego 50
60-637 Poznań