

PROGNOZOWANIE OPORU TOCZENIA KÓŁ CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH NA GLEBIE

Zbigniew Błaszkiwicz, Artur Szafarz

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W pracy przedstawiono ocenę dokładności modelu opona-gleba zastosowanego do prognozowania oporu toczenia kół wybranych ciągników rolniczych poruszających się po spulchnionej glebie lekkiej. Wykazano, że prognozowanie oporu toczenia badanych ciągników za pomocą tego modelu jest dokonywane z dokładnością obciążoną błędem mniejszym od 11%. Stwierdzono, że dokładność prognozowania oporu toczenia wybranych pojedynczych kół prowadzących i kół napędowych jest obciążona błędami względnymi wynoszącymi poniżej 18%. Z badań empirycznych wynika, że opór toczenia kół prowadzących, o znacznie mniejszych wymiarach od kół napędowych, stanowi bardzo duży udział w oporze toczenia całego ciągnika wynosząc od 40 do 50%.

Słowa kluczowe: prognozowanie, opór toczenia, ciągniki, koła prowadzące, koła napędowe

Wstęp i cel pracy

Opór toczenia agregatów rolniczych na spulchnionej glebie lekkiej powoduje bardzo duże straty energii ciągników rolniczych wynoszące nawet do około 50% wartości przekazywanej na koła napędowe [Wong 2001; Dajniak 1979; Thijink 1988]. W konsekwencji powoduje to zwiększanie nakładów energetycznych na prace uprawowe oraz przyczynia się do wzmożonej emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Ograniczenie zużycia energii i ochronę środowiska można uzyskać poprzez zmniejszenie oporu toczenia kół ciągników, który może być prognozowany za pomocą opracowanego modelu opona - gleba zmodyfikowanego do wyznaczania oporu toczenia kół ogumionych [Błaszkiwicz 1997, 2006]. Model ten został dotychczas fragmentarycznie zweryfikowany w badaniach polowych tylko dla dwóch pojedynczych opon [Błaszkiwicz 2006]. Praktyczną przydatność tego modelu można ocenić tylko na podstawie szerszych badań polowych przeprowadzonych z różnymi ciągnikami, ogumieniem i przy zmiennych parametrach techniczno-eksploatacyjnych.

Celem ogólnym niniejszej pracy była analiza przydatności nowego modelu do prognozowania oporu toczenia kół wybranych ciągników rolniczych poruszających się po glebie spulchnionej, w warunkach różnych wymiarów opon i ich obciążeń. Celami szczegółowymi było określenie:

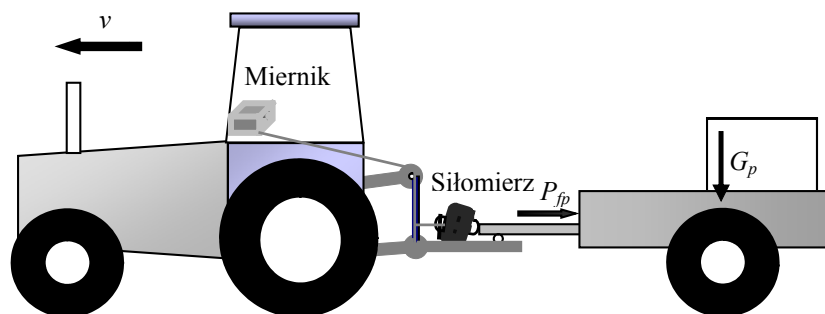
- dokładności prognozowania oporu toczenia wybranych ciągników za pomocą modelu opona-gleba,
- dokładności prognozowania za pomocą modelu opona-gleba oporu toczenia kół prowadzących i kół napędowych.

Zakres pracy i metody badań

Dokładność prognozowania oporu toczenia kół za pomocą modelu opona-gleba dokonano poprzez porównanie wyników obliczeń z wynikami pomiarów polowych.

Badania polowe obejmowały pomiary oporu toczenia ciągników rolniczych: Zetor 5211 oraz Ursus C-1004 oraz różnych pojedynczych kół prowadzących i kół napędowych. Warianty badań złożone z zastosowanych do tych ciągników opon kół prowadzących i napędowych oraz ich parametrów, oznaczone symbolem W , przedstawiono w tabeli 1. Pomiary 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 około 25 cm.

Podczas badań dokonywano pomiarów oporów toczenia kół ciągników za pomocą dwóch stanowisk pomiarowych: pierwszego do badania kół prowadzących i drugiego do badań parametrów trakcyjnych ciągnika. Badania oporu toczenia kół prowadzących przeprowadzono za pomocą stanowiska pomiarowego opracowanego i zbudowanego przez autorów. Stanowisko jest złożone z przyczepy jednoosiowej i platformy montowanej do trzypunktowego układu zawieszenia TUZ ciągnika (rys. 1), do której były montowane badane opony. Zaczep przyczepy, wyposażony od spodu w rolki prowadzące, wspierał się na platformie i był z nią połączony poprzez siłomierz indukcyjny DiR3 produkcji PIMR, o zakresie pomiarowym 0-10 kN i dokładności pomiaru $\pm 1\%$, połączony z miernikiem analogowo-cyfrowym ALFA 1000 i komputerem rejestrującym. Siłę oporu toczenia kół prowadzących, rejestrowano z częstotliwością 1 Hz na odcinku pomiarowym o długości 100 m w pięciu kolejnych przejazdach. Założone obciążenie opon uzyskiwano poprzez obciążniki umieszczone w skrzyni przyczepy na osi kół aby ograniczyć nacisk zaczepu na platformę pomiarową.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do badania oporu toczenia kół prowadzących.

Fig. 1. Diagram showing measurement setup used to test rolling resistance of leading wheels

Badania oporu toczenia kół napędowych ciągnika realizowano za pomocą stanowiska pomiarowego stanowiącego kolejno badane ciągniki Zetor 5211 i Ursus C-1004, wyposażone w aparaturę pomiarową przedstawioną w pracy Szafarza i Błaszkiwicza [2007]. Podczas pomiarów ciągniki były przeciągane innym ciągnikiem po glebie spulchnionej.

Opór toczenia mierzono tym samym siłomierzem indukcyjnym, połączonym z miernikiem analogowo-cyfrowym ALFA 1000 i komputerem rejestrującym. Opór toczenia badanych ciągników mierzono podczas ich ruchu do przodu. Siłę oporu toczenia kół napędowych wyznaczano poprzez odjęcie od oporu toczenia ciągnika pomiarowego siły oporu toczenia jego kół przednich poruszających się po glebie, zmierzonej stanowiskiem przedstawionym na rys. 1.

W badaniach symulacyjnych obliczano, za pomocą zmodyfikowanego modelu opona-gleba, oddzielnie opory toczenia kół (opon) prowadzących oraz kół napędowych, natomiast opór toczenia całego ciągnika stanowiła suma obliczonych oporów pojedynczych kół danego ciągnika. Badania przeprowadzono dla standardowych ciśnień wewnętrznych opon zalecanych przez producenta do prac polowych. Do wyznaczania parametrów trakcyjnych gleby zastosowano płytkowy bewametr ręczny, którego płytka pomiarowa miała szerokość 0,1 m. Parametry trakcyjne gleby wynosiły: $k = 0,0119 \text{ kN}\cdot\text{cm}^{-2}$ i $n = 0,587 [-]$. Dokładność uzyskanych rezultatów obliczeń z opracowanego modelu do wyników badań empirycznych szacowano za pomocą błędów względnych aproksymacji e [Błaszkiwicz 1997]. Błędy te stanowią iloraz różnicy dwóch wartości oporu toczenia – zmierzonej i obliczonej z modelu, oraz wartości empirycznej, wyrażony w %.

Wyniki badań i dyskusja

W badaniach sprawdzano dokładność zmodyfikowanego modelu opona – gleba do prognozowania oporu toczenia kołowych układów jezdnych ciągników, przedstawionych w tabeli 1. Z badań tych układów jezdnych wynika ogólnie, że weryfikowany zmodyfikowany model opona – gleba dobrze prognozuje opór toczenia badanych układów jezdnych ciągników, z błędem względnym aproksymacji e mniejszym od 11% (rys. 2). Błąd ten tylko w jednym przypadku, wariantu *W1*, wynosi 10,5%, w pozostałych jest znacznie mniejszy. Prognozowanie oporu toczenia pojedynczych kół napędowych i kół prowadzących jest obciążone większymi błędami względnymi, wynoszącymi jednak mniej niż 18% (rys. 3-6), bez wyraźnej zachodzącej prawidłowości. Pomimo jednak tej znacznej niedokładności prognozowania oporu toczenia pojedynczych kół, błąd oporu toczenia analizowanych układów jezdnych ciągników jest mniejszy, co wynika z różnego udziału oporu toczenia kół prowadzących i kół napędowych (tabela 1).

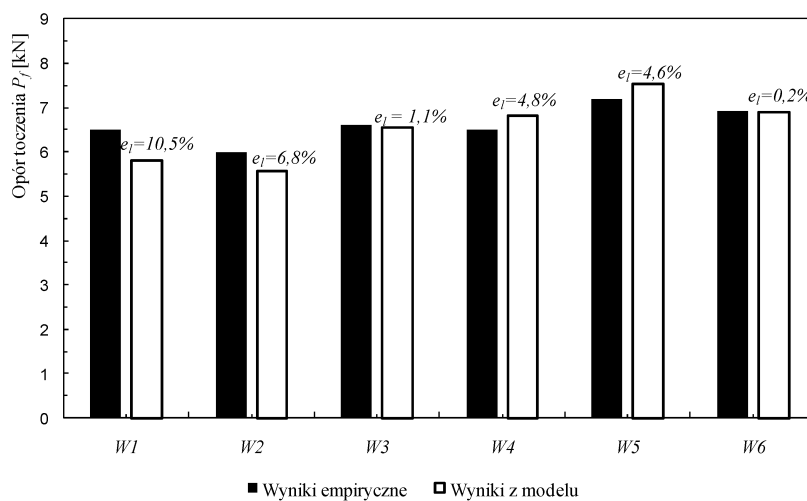
Z analizy oporów toczenia kół prowadzących badanych układów jezdnych ciągników, uzyskanych w polu na spulchnionej glebie lekkiej, wynika, że ich udział w oporze badanych ciągników jest znacznie większy od 30% - wartości dotychczas ogólnie przyjmowanej w literaturze [Dajniak 1979]. Badania przedstawione w niniejszej pracy wykazały, że udział oporu toczenia kół prowadzących o znacznie mniejszych wymiarach od kół napędowych wynosi od 38% (wariant *W3*) do nawet 50% (wariant *W4*). Z tego wynika, że należy z takim samą uwagą traktować opory toczenia wszystkich kół ciągników rolniczych.

Tabela 1. Dane opon kół napędowych i kół prowadzących oraz warianty układów jezdnych badanych ciągników (W), wraz z wynikami badań empirycznych. Oznaczenia: G_p , G_t – obciążenie normalne opon (p – kół prowadzących, t – kół napędowych), P_{fp} – opór toczenia kół prowadzących ciągnika, P_{ft} – opór toczenia kół napędowych ciągnika, P_f – opór toczenia ciągnika, e – błąd względny aproksymacji.

Table 1. Data for drive wheels and leading wheels, and variants of suspension systems in the examined tractors (W), including empirical research results. Symbols: G_p , G_t – normal load for tyres (p – leading wheels, t – drive wheels), P_{fp} – rolling resistance of tractor leading wheels, P_{ft} – rolling resistance of tractor drive wheels, P_f – tractor rolling resistance, e – relative error of approximation

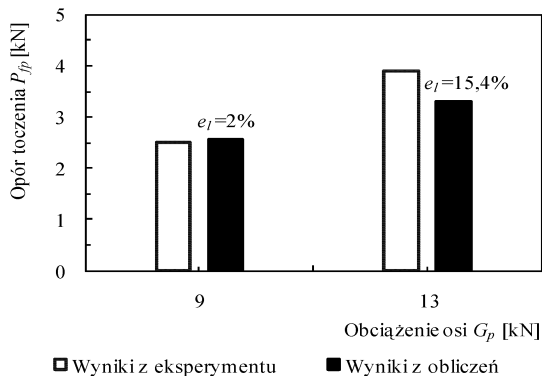
	Opona	G_p [kN]	P_{fp} [kN]	e [%]	Opona	G_t [kN]	P_{ft} [kN]	e [%]	P_f [kN]
Wariant	ZETOR								
$W1$	6.0-16	9	2,51	38,55	14.9-28	18,5	4,15	61,45	6,51
$W2$	6.0-16	9	2,51	41,90	13.6-36	19,2	3,48	58,10	5,99
$W3$	6.0-16	9	2,51	37,97	13.6-36	27,2	4,1	62,03	6,61
	URSUS								
$W4$	6,5-20	16	3,2	49,30	16.9-34	28	3,3	50,70	6,5
$W5$	6,5-20	16	3,2	44,50	16.9-34	31,5	4	55,50	7,2
$W6$	6,5-20	16	3,2	46,20	13.6-36	27,2	3,73	53,80	6,93

Źródło: badania własne autorów



Rys. 2. Pomiarowe i obliczone z modelu opona - gleba opory toczenia P_f ciągników rolniczych wyposażonych w badane warianty układów jezdnych W

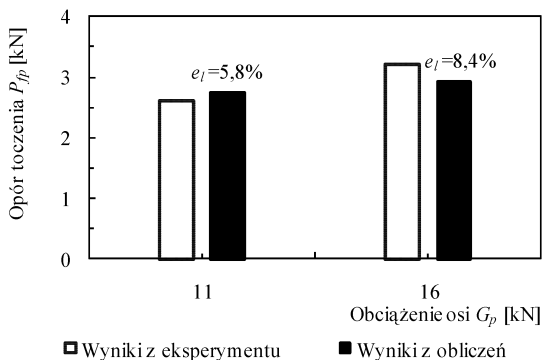
Fig. 2. Rolling resistance values P_f for farm tractors equipped with the examined suspension system variants W : measured and computed from the tyre-soil model



Rys. 3. Opory toczenia kół prowadzących P_{fp} z oponami 6-16, przy różnych obciążeniach normalnych G_p

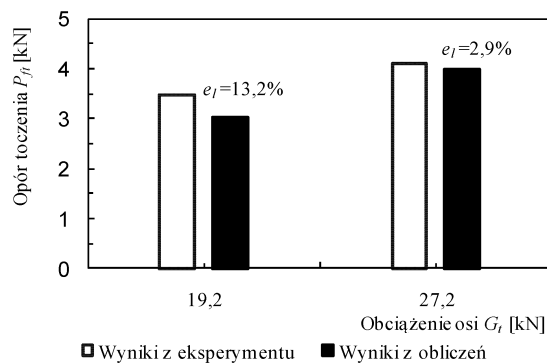
Fig. 3. Rolling resistance values for leading wheels P_{fp} with tyres sized 6-16, for various normal loads G_p

Na podstawie analizy przedstawionych wyników pomiarów można wskazać, że opracowany i zmodyfikowany model opona-gleba zadowalająco nadaje się do prognozowania oporu toczenia kół napędowych badanych ciągników, które poruszają się po koleinie utworzonej kołem prowadzącym. Model ten jednak nie uwzględnia braku naporu gleby na oponę napędową w koleinie koła przedniego. Zatem prognozowany opór toczenia kół napędowych odnosi się do warunków ruchu tych kół po glebie spulchnionej bez kolein kół przednich, natomiast zmierzony opór toczenia kół napędowych do warunków poruszania się ich po koleinach kół przednich. Z danych przedstawionych na rys. 2 wynika, że wartości oporu toczenia badanych ciągników - zmierzone i obliczone z modelu nie różnią się znacząco, co wskazuje na mały udział tego uproszczenia w prognozowaniu.



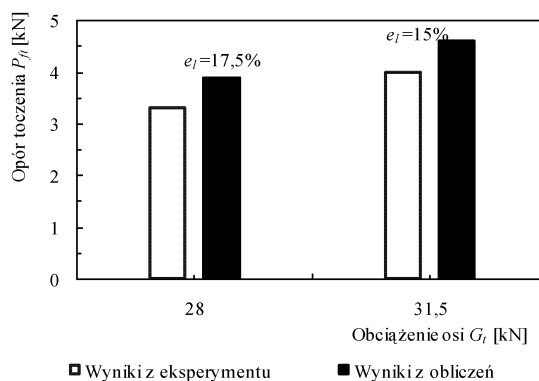
Rys. 4. Opory toczenia kół prowadzących P_{fp} z oponami 6,5-20, przy różnych obciążeniach normalnych G_p

Fig. 4. Rolling resistance values for leading wheels P_{fp} with tyres sized 6,5-20, for various normal loads G_p



Rys. 5. Opory toczzenia kół napędowych P_{ft} z oponami 13,6-36, przy różnych obciążeniach normalnych G_r

Fig. 5. Rolling resistance values for leading wheels P_{fp} with tyres sized 13,6-36, for various normal loads G_p



Rys. 6. Opory toczzenia kół napędowych P_{ft} z oponami 16,9-34, przy różnych obciążeniach normalnych G_r

Fig. 6. Rolling resistance values for leading wheels P_{fp} with tyres sized 16,9-34, for various normal loads G_p

Wnioski

1. Prognozowanie oporu toczzenia badanych ciągników na spulchnionej glebie lekkiej za pomocą modelu opona – gleba jest dokonywane z dobrą dokładnością obarczoną błędem względnym aproksymacji mniejszym od 11%.
2. Dokładność prognozowania za pomocą modelu opona-gleba oporu toczzenia pojedynczych kół prowadzących i kół napędowych badanych ciągników jest obarczona błędami względnymi wynoszącymi poniżej 18%.

3. Opór toczenia kół prowadzących, o znacznie mniejszych wymiarach od kół napędowych, stanowi bardzo duży udział w oporze toczenia ciągników poruszających się po spulchnionej glebie lekkiej, wynosząc od 40 do 50%.

Bibliografia

- Błaszkiwicz Z.** 1997. Badania wpływu wybranych parametrów opon rolniczych na ugniatanie gleby. Rozprawy naukowe. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Z. 271. ISBN 83-7160-036-4
- Błaszkiwicz Z.** 2006. Model do wyznaczania oporu toczenia opon. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(77). Kraków. s. 137-144.
- Dajniak H.** 1985. Ciągniki – teoria ruchu i konstruowanie, WKL Warszawa. ISBN 83-206-0518-0.
- Szafarz A., Błaszkiwicz Z.** 2007. Metody pomiaru wybranych parametrów ruchu kół napędowych ciągnika ze wspomaganiami informatycznym. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90). Kraków. s. 301-307.
- Tijink F.G.J.** 1988. Load-bearing processes in agricultural wheel-soil systems. Doctoral thesis. Agricultural University Wageningen. 96. ISBN 90-9001968-5.
- Wong J.Y.** 2001. Theory of ground vehicles. Third edition by John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-35461-9.

PREDICTING ROLLING RESISTANCE OF FARM TRACTOR WHEELS RUNNING ON SOIL

Abstract. The paper presents evaluation of accuracy of the tyre-soil model employed to predict rolling resistance for wheels of selected farm tractors running on a scarified light soil. It has been proven that predicting rolling resistance for the examined tractors with this model is carried out with accuracy burdened with error under 11%. It has been observed that the accuracy of rolling resistance predicting for selected single leading wheels and drive wheels is burdened with relative errors under 18%. Empirical research proves that rolling resistance of leading wheels, which are much smaller than drive wheels, has very high share in rolling resistance of the whole tractor, ranging from 40 to 50%.

Key words: predicting, rolling resistance, tractors, leading wheels, drive wheels

Adres do korespondencji:

Błaszkiwicz Zbigniew; e-mail: zbigniewblaszkiewicz@up.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-624 Poznań