

PROGRAM KOMPUTEROWY DO WYZNACZANIA PARAMETRÓW TRAKCYJNYCH KÓŁ NAPĘDOWYCH

Artur Szafarz, Zbigniew Błaszkiwicz

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. W pracy przedstawiono program komputerowy do wyznaczania sił trakcyjnych na glebie opracowany na bazie nowego modelu trakcyjnego oraz badania jego stabilności i wrażliwości. W badaniach symulacyjnych wykazano, że dokładność i stabilność obliczeń programu w zakresie wyznaczania siły uciągu jest tym większa im wartości Δh i y_b są do siebie zbliżone i przyjmują wartości mniejsze od 0,3 cm. Badania te przeprowadzono dla opony 13.6-36 poruszającej się po glebie przy poślizgu 15%.

Słowa kluczowe: program komputerowy, parametry trakcyjne koła, symulacja komputerowa, dokładność obliczeń

Wstęp i cel pracy

Techniki informatyczne są coraz bardziej pomocne w zarządzaniu techniką rolniczą w pracach polowych. Dotyczy to również problemu prognozowania parametrów trakcyjnych kół agregatów rolniczych poruszających się po spulchnionych glebach lekkich, w warunkach związanych z dużymi stratami energetycznymi, zwiększającymi nakłady na polowe prace uprawowe. Optymalne dobranie parametrów trakcyjnych opon dla tych warunków było ograniczone ze względu na brak dobrych modeli prognostycznych. Dobrą dokładnością charakteryzuje się utworzony ostatnio nowy trakcyjny model matematyczno-informatyczny opona-gleba [Szafarz i Błaszkiwicz 2006a,b]. Szczegółowe opisanie systemu empirycznego opona-gleba spowodowało konieczność zastosowania metod numerycznych oraz zbudowania aplikacji komputerowej dla wykonywania skomplikowanych obliczeń. Zgodnie z wymaganiami inżynierii oprogramowania wymagane jest przeprowadzenie badań weryfikacyjnych w celu sprawdzenia stabilności programu komputerowego oraz odporności na oscylacje powodowane danymi wejściowymi.

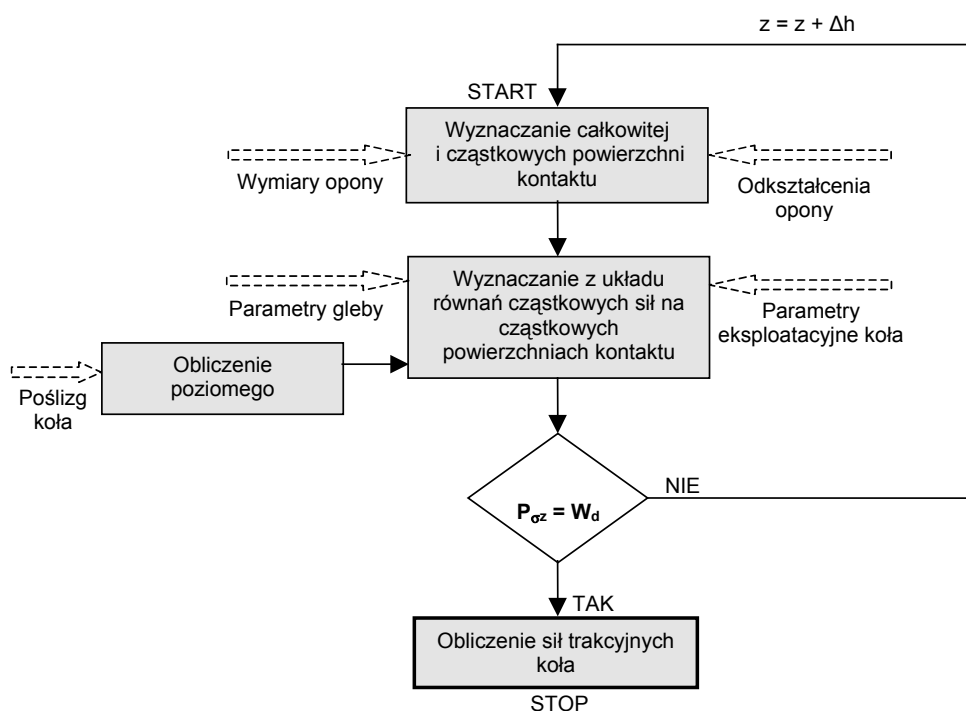
W niniejszej pracy przedstawiono program komputerowy zbudowany na bazie nowego trakcyjnego modelu opona-gleba przeznaczonego do prognozowania parametrów trakcyjnych kół napędowych na glebie oraz wyniki badań symulacyjnych jego dokładności obliczeń w zakresie siły uciągu koła.

Opis modelu i programu komputerowego

W zbudowanej postaci modelu matematycznego opartego o system empiryczny złożony z wielu parametrów opony i gleby zastosowano metody numeryczne obliczeń dla wyznaczania sił trakcyjnych na kole i zagłębienia opon. Opis ogólny utworzonego modelu oraz

jego wstępną pozytywną walidację przedstawiono w pracy Szafarza i Błaszkiwicza [2006b].

W modelu są wyznaczane cząstkowe siły trakcyjne na cząstkowych powierzchniach kontaktu położonych na trójwymiarowej powierzchni kontaktu opony z podłożem. Zastosowano nową analityczną metodę wyznaczania tych cząstkowych powierzchni kontaktu oraz parametrów ich położenia w głębie w układzie współrzędnych prostokątnych z uwzględnieniem odkształceń promieniowych i bocznych opony. Cząstkowe powierzchnie kontaktu wyznaczano przez cięcie trójwymiarowej powierzchni kontaktu pionowymi (równoległymi do płaszczyzny symetrii koła) i poziomymi płaszczyznami w odległościach oznaczonych kolejno w pracy Δh i y_b . Na tych powierzchniach są wyznaczane siły cząstkowe działające na oponie z uwzględnieniem siły cząstkowej będącej składową pionową siły jazdy, co spowodowało konieczność zastosowania w modelu numerycznych metod obliczeń. Wyznaczane liczne siły cząstkowe na trójwymiarowej powierzchni kontaktu są sumowane i uzyskuje się wartości sił jazdy, oporu toczenia i uciągu koła.



Rys. 1. Algorytm numeryczny programu komputerowego do wyznaczania sił trakcyjnych koła
 Fig. 1. The numerical algorithm of the computer program for the determination of the wheel traction forces

W oparciu o metody wytwarzania aplikacji zgodne z inżynierią oprogramowania i na bazie utworzonego modelu relacyjnego systemu empirycznego opona–gleba oraz opracowanego algorytmu numerycznego (rys. 1) utworzono system komputerowy pozwalający na prognozowanie takich parametrów kół jak: siła uciągu, opór toczenia i siła jazdy koła. Program komputerowy pozwala także na obliczenia parametrów trójwymiarowej powierzchni kontaktu opony z glebą oraz wymiarów tworzonej przez koło koleiny. Projekt programu powstał w postaci diagramów notacji UML, zaś sam program został zaimplementowany w języku C++ w środowisku Borland C++Builder 6.

Weryfikacja modelu

Przeprowadzono badania dokładności obliczeń programu komputerowego w zakresie prognozowania siły uciągu ciągnikowej opony napędowej 13.6-36. Na podstawie analizy zbudowanego modelu trakcyjnego wskazano, że źródłem oscylacji i niedokładnych obliczeń mogą być wielkość i kształt cząstkowych powierzchni kontaktu opony z podłożem warunkujące wartości i położenie na tych powierzchniach wyznaczanych trakcyjnych sił cząstkowych. Ponieważ wielkość i kształt tych powierzchni zależą wprost od przyjmowanych w modelu wartości odległości poziomych płaszczyzn cięcia Δh i pionowych płaszczyzn cicia y_b , to parametry te przyjęto jako podstawowe mogące wpływać na stabilność i wrażliwość modelu trakcyjnego.

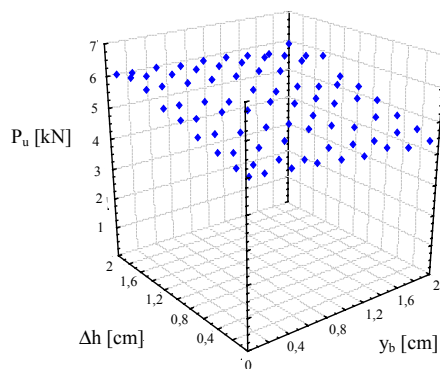
W zakresie badań symulacyjnych badano wpływ małych zmian odległości poziomych Δh i pionowych y_b przekrojów płaskich trójwymiarowej powierzchni kontaktu opony z podłożem na wrażliwość modelu trakcyjnego w zakresie obliczeń sumarycznej siły uciągu P_u tj. na wielkość powodowanych jej oscylacji. Jednocześnie badano, czy w znacznym zakresie przyjmowanych tych samych wielkości Δh i y_b program komputerowy jest stabilny tj. nie powoduje znacznych błędów obliczeń wartości P_u .

Na rysunku 2 przedstawiono globalnie jednoczesny wpływ analizowanych parametrów Δh i y_b na wartość obliczanej siły uciągu. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zmiany obliczonej siły uciągu występujące lokalnie pod wpływem zmiennych wartości y_b , przy stałej wartości Δh , natomiast na rysunku 4 przedstawiono przykładowe zmiany obliczonej siły uciągu występujące lokalnie pod wpływem zmiennych wartości Δh przy stałej wartości y_b . Badania te (rys. 3 i 4) przeprowadzono dla danych, dla których stwierdzono, że model jest stabilny (w omówieniu wyników). Zaprezentowano rezultaty obliczeń wykonanych tylko dla średniej wartości poślizgu koła 15%, zalecanej do wykonywania cięższych prac polowych. Badania symulacyjne przeprowadzono dla warunków ruchu kół po spulchnionej glebie lekkiej w oparciu o dane wejściowe uzyskane w badaniach polowych i laboratoryjnych zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry opony i gleby w badaniach symulacyjnych
 Table 1. Tyre and soil parameters for the computer simulation

Parametry	Opona 13.6-36
Wymiary opony (w cm):	$r_0 = 77,5$ $b_0 = 37,6$ $h = 31,5$ $H = 18,5$
Parametry eksploatacyjne opon: - obciążenie statyczne - obciążenie dynamiczne, - ciśnienie wewnętrzne,	$W_s = 13,6$ kN $W_d = -0,0258s + 13,363$ kN $p_w = 80$ kPa
Odształcenia opon (cm): - promieniowe - boczne	$r_d = 3,6$ $b_d = -0,0189s + 1,9658$
Parametry trakcyjne gleby:	$k = 0,0110$ kN·cm ⁻² $n = 0,675$ [-] $c = 0,00118$ kN·cm ⁻² $\Phi = 27^\circ$ $K = 1,720$ [-]
Parametry bewametry i inne:	$b_p = 10$ cm $F_p = 100$ cm ² $\lambda = 1,9$ [-]; $x = 2,7$ [-]

Źródło: dane własne autorów



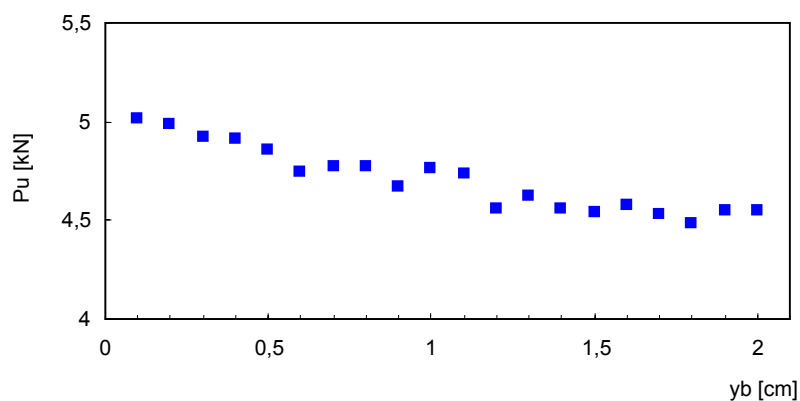
Rys. 2. Wpływ danych wejściowych Δh i y_b na dokładność obliczeń siły uciągu koła P_u z modelu trakcyjnego

Fig. 2. The effect of the input data of Δh i y_b on the calculation accuracy of the wheel driving force P_u realized using the traction model

Omówienie wyników badań

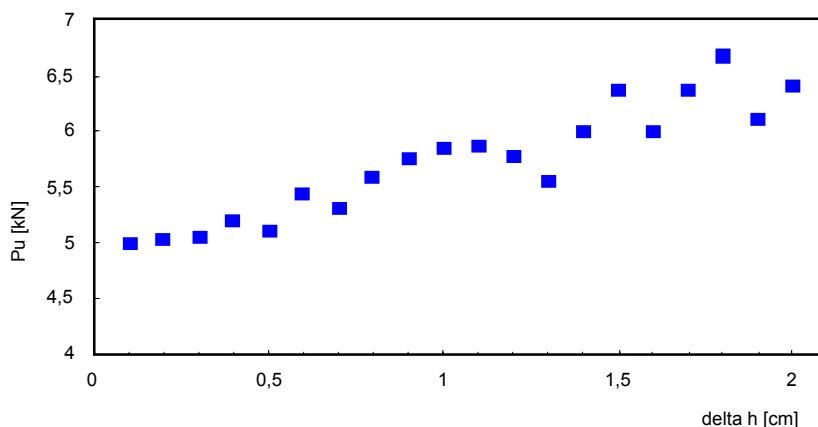
Zaprezentowany program komputerowy pozwala na dokonywanie szybkich obliczeń podstawowych sił trakcyjnych kół napędowych takich jak siła uciągu, opór toczenia i siła jazdy, na podstawie wielu parametrów wejściowych charakteryzujących oponę i podłoże. Posłużył on do przeprowadzenia badań symulacyjnych, w których wykazano znaczący wpływ obydwu badanych parametrów tj. przyjmowanej wartości odległości poziomych przekrojów płaskich przestrzennej powierzchni kontaktu opony z glebą i odległości jej płaskich przekrojów pionowych na stabilność uzyskiwanych wyników siły uciągu opony.

Z zależności przedstawionej na rysunku 2 wynika, że wartości obliczanej siły uciągu z modelu za pomocą programu komputerowego zależą w znacznym stopniu od przyjmowanych wartości obydwu parametrów Δh i y_b , zwłaszcza, gdy znacznie różnią się wartościami, tj. w warunkach, gdy cząstkowe powierzchnie kontaktu przyjmują kształty wydłużonych prostokątów. Wobec powyższego i analizy modelu należy przyjąć, że gdy wartości Δh i y_b są podobne, a zwłaszcza gdy są małe model daje wyniki obliczeń P_u najbardziej wiarygodne. W tym przypadku cząstkowe powierzchnie kontaktu są zbliżone do kwadratów o bardzo małych powierzchniach. Powoduje to, że krótsze boki cząstkowych powierzchni kontaktu przyjęte w modelu jako linie proste dokładniej aproksymują krawędzie tych powierzchni cząstkowych będących w rzeczywistości liniami krzywymi, wynikającymi z krzywizn trójwymiarowego kształtu opony. Ponadto małe kroki wartości Δh i y_b powodują, że wyznaczone siły odporu gleby ze zmodyfikowanego równania Saakjana dokładniej charakteryzują ciągłą nieliniową zmienność tej siły na głębokości koleiny wpływając na dokładność obliczeń siły uciągu koła.



Rys. 3. Wpływ odległości pionowych przekrojów płaskich y_b ($\Delta h = 0.1$ cm) na dokładność obliczeń siły uciągu koła P_u

Fig. 3. The effect of the distance of the vertical cross-section of the spatial contact area the tyre with the soil of y_b ($\Delta h = 0,1$ cm) on the calculation accuracy of the wheel driving force P_u realized using the traction model



Rys. 4. Wpływ odległości poziomych przekrojów płaskich Δh ($y_b = 0.1$ cm) na dokładność obliczeń siły uciągu koła P_u

Fig. 4. The effect of the distance of the horizontal cross-section of the spatial contact area the tyre with the soil of Δh ($y_b = 0.1$ cm) on the calculation accuracy of the wheel driving force P_u realized using the traction model

Drugim zagadnieniem jest wykazana różna wrażliwość modelu na dane wejściowe Δh i y_b scharakteryzowana na rysunkach 3 i 4 widocznymi oscylacjami kolejnych sąsiednich obliczanych wartości P_u . Należy zauważyć, że oscylacje te są nieznaczne w zalecanej już zakresie małych wartości Δh i y_b . W podsumowaniu można wskazać, że w obliczeniach prowadzonych za pomocą zbudowanego modelu trakcyjnego zalecane wartości Δh i y_b powinny być mniejsze od 0,3 cm gdyż ogranicza to lokalne oscylacje i daje zadowalającą dokładność obliczeń wartości siły uciągu ciągnika P_u .

Wnioski

1. Opracowany i przedstawiony program komputerowy do prognozowania sił trakcyjnych koła umożliwia wykonywanie skomplikowanych obliczeń na bazie modelu trakcyjnego opona-gleba znacznie je przyspieszając.
2. Wykazano znaczący wpływ obydwu badanych parametrów tj, przyjmowanej wartości odległości poziomych Δh przekrojów płaskich przestrzennej powierzchni kontaktu opony 13.6-36 z glebą i odległości y_b jej płaskich przekrojów pionowych na stabilność i wrażliwość obliczanych wartości siły uciągu opony dokonywanych za pomocą zbudowanego programu komputerowego .
3. Dokładność obliczeń programu w zakresie wyznaczania siły uciągu jest tym większa im wartości Δh i y_b są do siebie zbliżone i przyjmują wartości mniejsze od 0,3 cm. Dalsze zmniejszanie tych wartości powoduje wydłużenie czasu obliczeń nie polepszając znacząco ich dokładności.

Bibliografia

- Szafarz A., Blaszkiewicz Z.** 2006a. A modelling of tyre - soil interactions for conditions of loosened light soils. Proc. European Conference of ISTVS. Budapeszt. s. 1-7.
- Szafarz A., Blaszkiewicz Z.** 2006b. A model for the prediction of driving wheel performance parameters and soil compaction. Proc. XVITH CIGR Word Congress „Agricultural Engineering For A Better World”. Bonn. s. 1-6.

COMPUTER PROGRAM FOR THE DETERMINATION OF THE TRACTION PARAMETERS OF THE DRIVE WHEELS

Abstract. In this work the new computer program for the determination of the wheel traction parameters elaborated on the basis the new traction model and the computer investigation are presented. It is stated, in the computer simulation, that the accuracy of the calculation of the wheel driving force using elaborated computer program is accepted when the values of the partial contact areas the tyre with the soil are small and rectangular. The computer simulation was presented for the drive tyre 13.6-36 and its slip of 15%.

Key words: computer program, traction wheel parameters, computer simulation, accuracy

Adres do korespondencji:

Artur Szafarz; e-mail: aszafarz@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań