

MODEL ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ W GLEBIE W PŁASZCZYŹNIE PROSTOPADŁEJ DO KIERUNKU JAZDY

Streszczenie

W artykule zaprezentowano równanie opisujące zjawisko rozkładu naprężeń w glebie pod toczącym się mechanizmem jezdnym, w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy, w funkcji odległości od osi opony. Podstawą jego opracowania były wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych z wykorzystaniem urządzenia pomiarowego „Trak”. Obliczone według modelu wartości naprężeń zweryfikowano w trakcie pomiarów w kanale glebowym dla dwóch typów opony rolniczych.

Słowa kluczowe: gleba, mechanizm jezdny, opony, naprężenia, badania laboratoryjne, kanał glebowy

Wprowadzenie

Gleba, będąca podłożem trakcyjnym dla poruszających się maszyn i urządzeń rolniczych, charakteryzuje się zmiennymi parametrami i stanem. Dokładne wyznaczenie tych parametrów jest możliwe w warunkach laboratoryjnych. Badania stanu i właściwości gleby nie dadzą się bezpośrednio przełożyć na warunki polowe. W warunkach polowych wyznaczenie spójności gleby, kąta tarcia wewnętrznego czy też wilgotności wymaga badań statystycznych, wiążących się z wykonaniem na danym terenie dużej liczby pomiarów w identycznych warunkach.

Utrudnione jest zatem stosowanie dotychczasowych, wywodzących się z mechaniki układu pojazd-teren, równań propagacji naprężeń w glebie.

Cel i zakres badań

Celem było opracowanie modelu opisującego rozkład naprężeń w glebie w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy, w zakresie kontaktu opony z glebą.

Zaproponowane równanie matematyczne opisuje wartości wspomnianych naprężeń dla różnych głębokości pomiarowych i określa rozmiar strefy ich propagacji w glebie.

Model rozkładu naprężeń w glebie

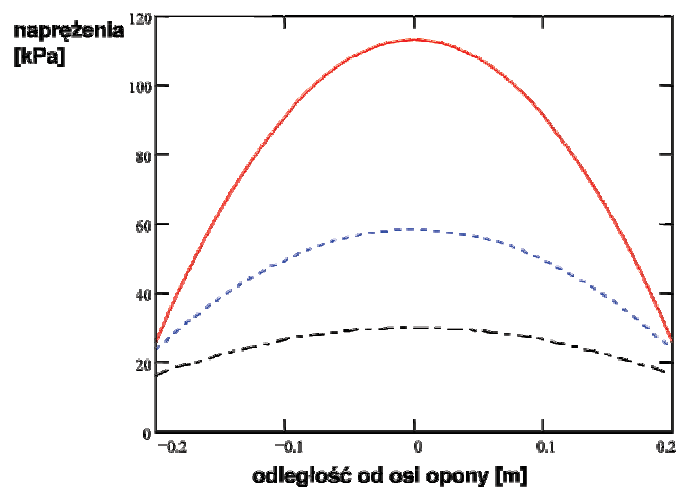
Analiza danych literaturowych, a także wyników prowadzonych pomiarów laboratoryjnych, pozwala na przyjęcie następujących założeń:

- maksymalne naprężenia występują w osi koleiny,
- naprężenia maleją wraz ze wzrostem odległości od osi opony,
- naprężenia maleją wraz ze wzrostem głębokości rozpatrywanej warstwy gleby od powierzchni kontaktu opony z podłożem.

Wykorzystując dane literaturowe [1] oraz wyniki pomiarów naprężeń w osi koleiny oraz na jej bokach na różnych głębokościach usytuowania czujników pomiarowych [2-4] można graficznie zilustrować ich przebieg w sposób pokazany na rys. 1.

W opracowaniu modelu przebieg naprężeń przyrównano do krzywej drugiego stopnia. Ogólne równanie aproksymujące tej funkcji ma postać:

$$y(x) = -ax^2 + c. \quad (1)$$



Rys. 1. Rozkład naprężeń w glebie w funkcji odległości od osi opony dla trzech głębokości pomiarowych [3-5]

Fig. 1. Stress distribution in the function of distance from soil wheel track center for three measurement depths [3-5]

Funkcja $y(x)$ jest przedstawieniem rozkładu naprężeń w funkcji odległości od osi opony $p(b)$ dla ustalonej głębokości h_i .

Wartości liczbowe współczynników a i c równania (1) wyznaczono z wykorzystaniem technik komputerowych, a ich związek z parametrami fizycznymi wyrażono na podstawie badań laboratoryjnych.

Podstawiając otrzymane wartości współczynników do równania (2) i upraszczając je otrzymuje się ostateczną postać modelu opisującego rozkład naprężeń w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy:

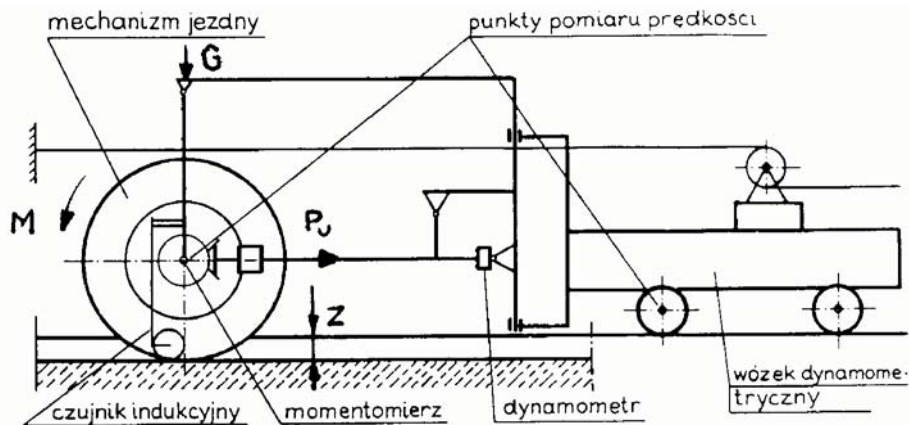
$$p(b) = p(h_i) \left(1 - \frac{2}{K_2} \cdot \exp\left(-\frac{h_i}{\sqrt{k_4}}\right) \cdot b^2 \right), \quad (2)$$

gdzie:

$P(h_i)$ - naprężenia w glebie w osi koleiny dla ustalonej głębokości pomiarowej h_i [7, 8],

k_4 - współczynnik charakteryzujący parametry konstrukcyjne i eksploatacyjne opony oraz warunki gleby i jej stan [2],

K_2 - współczynnik opisujący odkształcenie gleby i opony [7].



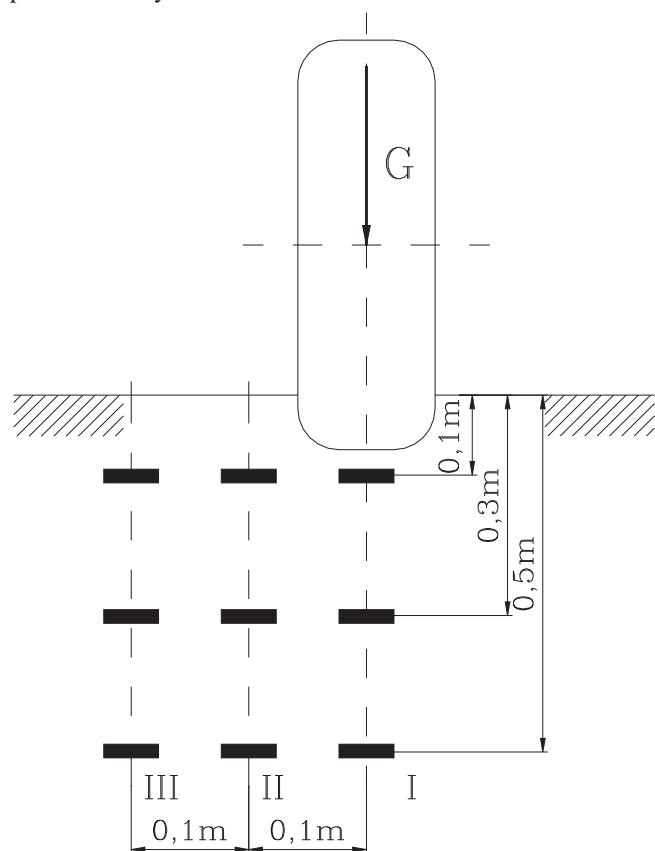
Rys. 2. Schemat urządzenia pomiarowego „Trak”
Fig. 2. Research equipment „Trak”

Analiza porównawcza wyników pomiarów z wielkościami obliczeniowymi

Badania laboratoryjne przeprowadzano w kanale glebowym Instytutu Inżynierii Mechanicznej, przy wykorzystaniu urządzenia pomiarowego typu „Trak” (rys. 2) do badań trakcyjnych mechanizmów jezdnych [6].

W trakcie pomiarów wykorzystano dwa typy opon rolniczych: Good-Year 14.9-28/8PR przy obciążeniu $G=10\text{ kN}$ oraz Stomil 14.9-28/8PR przy obciążeniu $G=7\text{ kN}$.

Zastosowano tensometryczne czujniki membranowe z naklejonymi foliowymi tensometrami wzdłużnymi połączonymi w układzie pełnego mostka [9]. Ich rozmieszczenie w glebie pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Rozmieszczenie czujników pomiarowych w trakcie pomiarów naprężeń
Fig. 3. Arrangement of measurement sensors during testing stresses

Wyniki obliczeń wielkości naprężeń w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy zostały wyznaczone z wykorzystaniem programu komputerowego MathCAD.

Porównanie wyników pomiarów naprężeń z wielkościami obliczonymi według modelu matematycznego (2) zestawiono w tab. 1 i 2.

Tab. 1. Porównanie wyników pomiarów z wynikami obliczeń wg modelu dla opony Good-Year 14.9-28/8PR ($G=10\text{ kN}$)
Table 1. Comparison of calculated results according to the model and measured results for the Good-Year tire 14.9-28/8PR ($G=10\text{ kN}$)

Głębokość h_i [m]	Odległość od osi opony b [m]	Naprężenia pomiarowe p_{pom} [kPa]	Naprężenia obliczeniowe p_{obl} [kPa]	Różnica [%]
0,1	0	113,2	113,0	0,2
	0,1	98,7	91,4	8,0
	0,2	23,7	26,0	8,9
0,3	0	65,7	58,3	12,7
	0,1	47,2	49,7	5,0
	0,2	23,5	23,8	1,3
0,5	0	30,4	30,1	1,0
	0,1	27,6	26,7	3,4
	0,2	18,4	16,4	12,2

Tab. 2. Porównanie wyników pomiarów z wynikami obliczeń wg modelu dla opony Stomil 14.9-28/8PR ($G=7\text{ kN}$)
Table 2. Comparison of calculated results according to the model and measured results for the Stomil tire 14.9-28/8PR ($G=7\text{ kN}$)

Głębokość h_i [m]	Odległość od osi opony b [m]	Naprężenia pomiarowe p_{pom} [kPa]	Naprężenia obliczeniowe p_{obl} [kPa]	Różnica [%]
0,1	0	85,6	95,1	10,0
	0,1	70,4	77,0	8,6
	0,2	21,2	22,7	6,6
0,3	0	44,0	49,2	10,6
	0,1	39,3	42,0	6,4
	0,2	21,5	20,4	5,4
0,5	0	24,1	25,5	5,5
	0,1	21,7	22,6	4,0
	0,2	14,5	14,0	3,6

Analiza porównawcza wyników pomiarowych naprężeń z danymi obliczeniowymi wykazała, że różnice nie przekraczają 13%. Wartości naprężeń maleją wraz z głębokością i ze wzrostem odległości od osi opony.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu zagadnienia przedmiotowego i przeprowadzonych badań własnych w pracy zaproponowano model opisujący rozkład naprężeń w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy, w zakresie kontaktu opony z glebą (2).

W stosunku do znanych i opisanych w literaturze przedmiotowej, model ten wyróżnia zastąpienie trudnych do określenia w warunkach polowych parametrów gleby (spójność i kąt tarcia wewnętrznego) wielkościami opisującymi oddziaływanie mechanizmu jezdnych na glebę (głębokość koleiny, ugięcie opony na glebie, powierzchnia kontaktu opony z glebą).

Wyniki obliczeń naprężeń w glebie, według zaproponowanego modelu matematycznego (2), porównano z wynikami pomiarów laboratoryjnych.

Na podstawie analizy porównawczej wyników badań pomiarowych z danymi obliczeniowymi można stwierdzić, że występujące różnice nie przekraczają dopuszczalnych wielkości przyjętych w tego typu badaniach, co potwierdza ich przydatność do stosowania w praktyce.

Parametry konstrukcyjne mechanizmu jezdnych oraz stan gleby i warunki glebowe odzwierciedlają występujące w równaniu (2) współczynniki K_2 i k_2 .

Pomiary wielkości charakteryzujących parametry konstrukcyjne mechanizmów jezdnych są możliwe do wykonania bez większych trudności, także w warunkach polowych, bez dodatkowych czynności związanych z pomiarami laboratoryjnymi, mającymi na celu wyznaczenie zmiennych parametrów glebowych.

Zaproponowany w pracy model matematyczny może zostać wykorzystany do monitorowania w czasie rzeczyw-

wistym (komputery pokładowe) wielkości naprężeń w glebie w warunkach polowych. Praktyczne zastosowanie modelu będzie wymagało ciągłego pomiaru zagłębienia opony, ugięcia opony na glebie i kątów opasania opony glebą.

Bibliografia

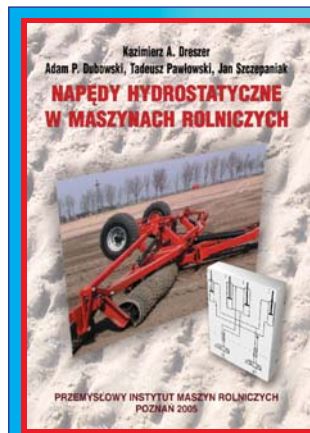
- [1] Hammel K.: Soil stress distribution under lugged tires. Soil & Tillage Research 32, 1994, s. 163-181.
- [2] Jakliński L.: Modele oddziaływania koła pneumatycznego na glebę. Prace Naukowe, Mechanika, z. 175, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
- [3] Kruszewski Z., Jakliński L., Michalak G.: Ocena rozkładu naprężeń powstających w glebie przy ruchu po niej mechanizmów jezdnych. Sprawozdanie IMiUR, NB-202/2 Etap I, Płock, 1983.
- [4] Kruszewski Z., Jakliński L., Michalak G.: Ocena rozkładu naprężeń powstających w glebie przy ruchu po niej mechanizmów jezdnych. Sprawozdanie IMiUR, NB-202/2 Etap II, Płock, 1984.
- [5] Kruszewski Z., Jakliński L., Michalak G.: Ocena rozkładu naprężeń powstających w glebie przy ruchu po niej mechanizmów jezdnych. Sprawozdanie IMiUR, NB-202/2 Etap III, Płock, 1985.
- [6] Sołtyński A.: Trak - stanowisko do laboratoryjnych badań trakcyjnych pojedynczych mechanizmów jezdnych pracujących w glebie. IBMER, Warszawa, 1969, 3(62).
- [7] Stasiak W.: Modele propagacji nacisków w glebie generowanych przez oponę. Rozprawa doktorska, Płock, 2003.
- [8] Stasiak W.: Model rozprzestrzeniania się nacisków jednostkowych w osi koleiny. VIII Międzynarodowe Sympozjum im. Prof. Cz. Kanafojskiego, t. 2, s. 235-242, Płock, 2000.
- [9] Stasiak W.: Przegląd dotychczasowych rozwiązań konstrukcyjnych czujników tensometrycznych do pomiaru nacisków jednostkowych oraz ich nowe tendencje rozwojowe. VII Sympozjum im. Prof. Cz. Kanafojskiego, t. 2, s. 236-241, Płock, 1997.

MODEL OF STRESS DISTRIBUTION IN THE SOIL ON THE SURFACE PERPENDICULAR TO THE DIRECTION OF TRAVELLING

Summary

Equation presented in this paper describes the phenomenon of distributing soil-tire stresses alongside the whole contact of the soil and the tire, in the function of distance from soil wheel track center for assumed depth. Laboratory tests conducted in the soil test channel with the use of the research equipment "Trak" were the basis of its elaboration. Next, the calculation results were verified with the experimental results of research tests conducted in the soil test channel for two tires.

Key words: soil, traction mechanism, tires, stresses, laboratory experimentation, soil canal



NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych

60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31

tel. +48 61 87-12-200; fax +48 61 8793262;

e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>