

Lech JAKLIŃSKI
Politechnika Warszawska

MODEL PROPAGACJI NACISKÓW UWZGLĘDNIAJĄCY PODESZWĘ PŁUŻNĄ

Słowa kluczowe

Nacisk jednostkowy, propagacja nacisków, podeszwa płużna, ciśnienie powietrza.

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono trójczłonowy model matematyczny propagacji nacisków generowanych przez oponę z uwzględnieniem przejścia przez tzw. podeszwę płużną. Ponadto zaproponowano wyznaczenie ich wielkości na styku opony z glebą jako funkcję ciśnienia powietrza w oponie, skorelowaną poprzez wprowadzenie współczynnika k .

Wprowadzenie

Wraz z rozwojem użytecznych w badaniach polowych, ultradźwiękowych i laserowych technik pomiaru głębokości koleiny i dynamicznego odkształcenia (deformacji) opony, ustalono wstępne warunki techniczne dla czujnika pomiarowego, mierzącego ugięcie opony, w trakcie trakcyjnych badań polowych oraz pomiaru osiadania odkształconej gleby.

Z przeprowadzonych wstępnych wyników badań wynika, że pomiar osiadania gleby w istotnym stopniu odzwierciedla zagęszczenie gleby, niż jak dotychczas uznawano pomiar nacisku na glebę.

Wyniki badań laboratoryjnych wsparte badaniami geofizycznymi są podstawą do rozważań modelowych, które wspólnie z testami modelowymi są celem obecnych prac.

Dzięki opracowanej metodzie [1–2] pomiaru nacisków w glebie można określić osiadanie gleby z dużą dokładnością.

Po przejeździe opony ugnieciona gleba ulega tzw. odprężeniu, a przenoszone przez nią naciski powodują miejscowe jej zagęszczenie na różnych głębokościach tworząc tzw. podeszwę płużną.

Model propagacji nacisków uwzględniający przejście przez podeszwę płużną

Dotychczasowe modele opisujące propagację nacisków w głąb gleby, generowane przez oponę, nie uwzględniają zjawiska występowania tzw. podeszwy płużnej. Zjawisko jej powstawania wiąże się z wielokrotnym przejazdem mechanizmów jezdnych maszyn i urządzeń rolniczych po tym samym śladzie. Powstają wówczas miejscowe warstwy bardzo ugniecionej gleby. Głębokość jej usytuowania jest zmienna i zależna zarówno od rodzaju i stanu gleby, jak również od wielkości nacisków wywieranych na nią przez mechanizmy jezdne. To samo zagadnienie dotyczy również jej grubości. Występowanie miejscowego zagęszczenia gleby jest bardzo niekorzystne ze względów agrotechnicznych, a tym samym ma duży wpływ na plonowanie roślin.

W celu zamodelowania rozprzestrzeniania się nacisków w głąb gleby z uwzględnieniem ich przejścia przez podeszwę płużną, należy określić głębokość jej usytuowania względem warstwy wierzchniej gleby oraz jej grubość.

Te dwa parametry będą wielkościami zmiennymi i trudnymi do wyznaczenia. Konieczne jest zatem dla każdego badanego pola określanie ich w wyniku eksperymentalnych badań polowych.

Do określania położenia i grubości tzw. podeszwy płużnej wykorzystujemy GEORADAR przedstawiony na rys.1. Jest to urządzenie, które za pomocą emisji fal określa zmianę struktury gleby oraz głębokość położenia tej zmiany.



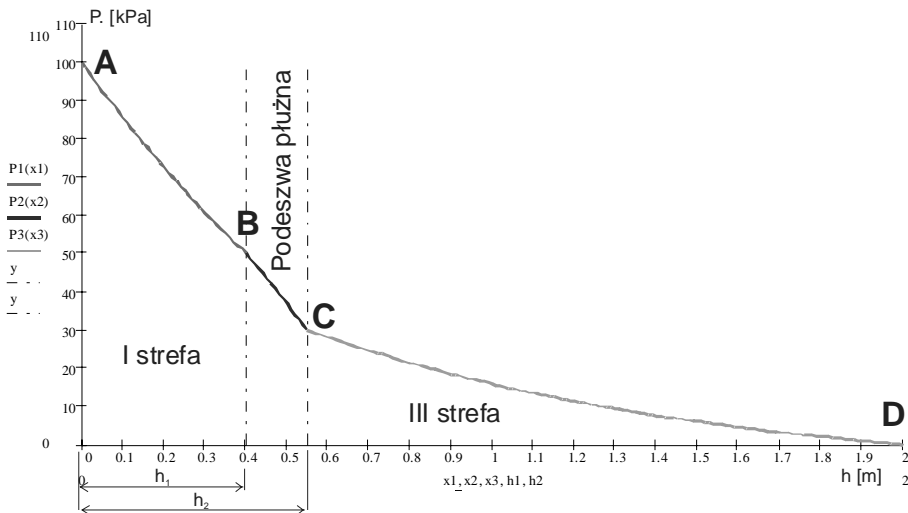
Rys. 1. Urządzenie do analizy struktury gleby. Georadar

Otrzymane wyniki badań polowych z wykorzystaniem georadaru stanowią podstawę wyjścia do analizy teoretycznej zagadnienia związanego z rozprzestrzenianiem się nacisków i ich przejścia przez miejscowo ugniecioną warstwę gleby.

Model matematyczny propagacji nacisków

W przedstawionym modelu możemy wyodrębnić trzy strefy, ponieważ przyjmujemy, że do pojawienia się tzw. podeszwy płużnej mamy jednorodny stan gleby, następnie występuje miejscowe zagęszczenie gleby powstałe w wyniku wielokrotnej orki na tej samej głębokości, a poniżej niej gleba posiada nadal jednorodną strukturę:

- pierwsza obejmuje zakres od warstwy wierzchniej gleby do poziomu pojawienia się podeszwy płużnej. Jest to odcinek A–B (rys. 2),
- druga strefa obejmuje swym zakresem przejście przez warstwę miejscowo zagęszczonej gleby. Odcinek B–C,
- trzecia strefa odnosi się do warstw gleby leżących poniżej tzw. podeszwy płużnej. Odcinek C–D.



Rys. 2. Teoretyczny przebieg propagacji nacisków w glebie

Równanie (1) jest równaniem trójczłonowym. W przedstawionym modelu przyjęto, zgodnie z danymi literaturowymi [3–4] i wynikami przeprowadzonych badań [3], że faza początkowa propagacji nacisków przebiega zgodnie z przebiegiem funkcji wykładniczej. Kolejna faza to przejście przez tzw. podeszwę płużną. Ponieważ brak jest danych literaturowych na ten temat, w modelu

przyjęto, że jej przebieg jest liniowy. Odcinek C–D określający rozkład nacisków po przejściu przez lokalne zagęszczenie gleby, przyjęto jako funkcję wykładniczą, asymptotycznie dążącą do zera. Podobnie jak w strefie pierwszej.

Przedstawiony w opracowaniu model jest modelem empiryczno-doświadczalnym. Oznacza to, że do jego opracowania, jak i praktycznego wykorzystania, nieodzowne są określone dane wyjściowe, takie jak:

- h_1 – głębokość położenia tzw. podeszwy płuznej względem wierzchniej warstwy,
- (h_2, h_1) – grubość tej miejscowo zagęszczonej gleby,
- $p(A)$ – wartość nacisków na styku opony z glebą,
- $p(B)$ – wartość nacisków w miejscu osiągnięcia położenia podeszwy płuznej,
- $p(C)$ – wartość nacisków po przejściu przez ww. podeszwę.

Dane te są konieczne do przeprowadzenia weryfikacji wyników obliczeń modelowych z wynikami badań polowych.

Model propagacji nacisków przedstawia równanie:

$$p(h) = \left\{ \begin{array}{l} p_1(h) = C_1 \cdot e^{-h} + C_2 \dots\dots\dots \\ p_2(h) = \frac{p(B) - p(C)}{h_1 - h_2} \cdot (h - h_1) + p(B) \cdot \\ p_3(h) = C_3 \cdot e^{-h} + C_4 \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{p(B) - p(A)}{e^{-h_1} - 1} \quad C_2 = p(A) - C_1 \quad (2)$$

$$C_3 = \frac{p(C)}{e^{-h_2} - e^{-2}} \quad C_4 = -C_3 \cdot e^{-2}$$

- $p_1(h)$, $p_2(h)$, $p_3(h)$; wartości nacisków na różnych głębokościach. (3)

Obliczenia oraz symulację komputerową przeprowadzono z wykorzystaniem programu MathCad 2000.

Zaproponowany w opracowaniu model matematyczny pozwala na prowadzenie symulacji komputerowej rozkładu nacisków z uwzględnieniem ich przejścia przez tzw. podeszwę płuzną, przy zmiennych warunkach i parametrach badań. Problem modelowania położenia podeszwy płuznej wydaje się zagadnieniem bardzo skomplikowanym i zależnym od różnorodnych czynników. Jednym z rozwiązań jest wyznaczanie położenia warstwy płuznej na podstawie przeprowadzonych pomiarów w określonych warunkach polowych z wykorzystaniem georadaru.

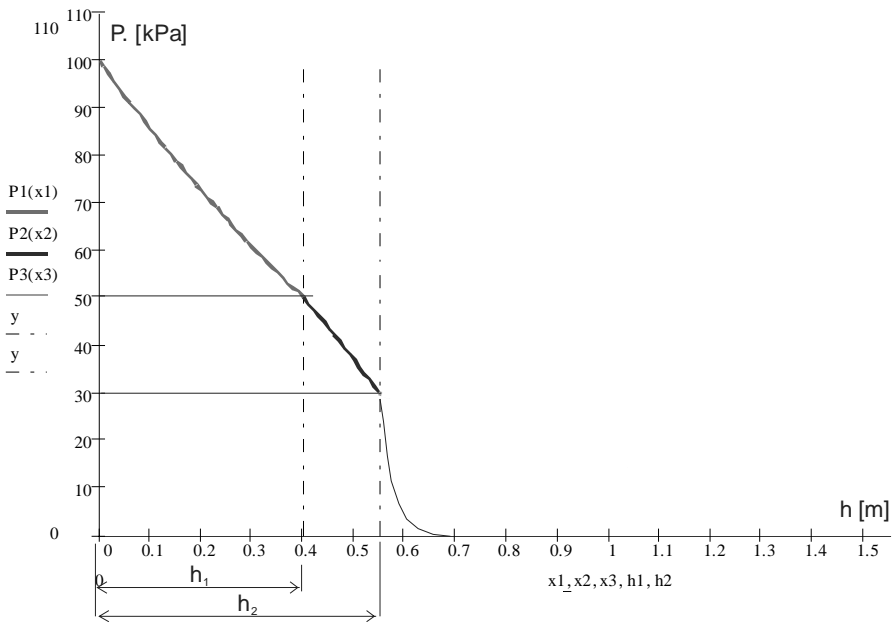
Przedstawioną w opracowaniu symulację przebiegu rozkładu nacisków w glebie (rys. 2), przeprowadzono dla danych otrzymanych z pomiarów w badaniach polowych opony napędowej Michalin 20.8R38xH108. Pomiary te prowadzone były w latach 2004 i 2005 w Federalnym Instytucie Techniki Rolniczej w Braunschweigu.

Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wyniki badań polowych

Wielkości pomiarowe	głębokość położenia podeszwy	grubość podeszwy	nacisk max	nacisk nad podeszwą	nacisk pod podeszwą
	h_1 [m]	$H_2 - h_1$ [m]	$p(A)$ [kPa]	$p(B)$ [kPa]	$p(C)$ [kPa]
	0,40	0,15	100	50	30

Graficznie przedstawiono to na rysunku 3.



Rys. 3. Graficzny przebieg symulacji komputerowej

Pomiary weryfikacyjne przeprowadzono w FAL w Braunschweigu, z wykorzystaniem urządzenia badawczego zamontowanego na kombajnie zbożowym typu Class (rys. 4)



Rys. 4. Widok urządzenia pomiarowego z zamontowaną oponą

Do pomiaru nacisków wykorzystano hydrauliczne czujniki pomiarowe. Usytuowane były one na różnych głębokościach względem wierzchniej warstwy gleby. Głębokość ich ułożenia wynosiła: 0,2 m i 0,5 m (rys. 5).



Rys. 5. Usytuowanie czujników pomiarowych w glebie

Mierzono również wartości nacisków poniżej tzw. podszwy płużnej, której położenie ustalono za pomocą georadaru. Z otrzymanych wyników pomiarów wynika, że po przejściu przez tę warstwę zagęszczoną miejscowo gleby następuje bardzo znaczny spadek wartości rejestrowanych nacisków nawet do wartości równej zero.

Ciśnienie powietrza w oponie jako czynnik determinujący rozkład nacisków jednostkowych

W ramach międzynarodowej współpracy w latach 2004–2005 z FAL przeprowadzono między innymi badania dotyczące pomiaru kątów współpracy napędowej opony rolniczej przy różnych parametrach jej badań, jak również przeprowadzono obliczenia dotyczące wielkości nacisków wywieranych przez nią na podłoże, zgodnie z przedstawionymi wówczas modelami matematycznymi [1], [3]. Przykładowe wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki obliczeń modelowych

Parametry badań	$G_1 = 40,22 \text{ kN}$ $p_o = 1,0 \text{ bar}$	$G_2 = 58,66 \text{ kN}$ $p_o = 2,2 \text{ bar}$
Wartości obliczeniowej składowej normalnej [kN]	1,311 1,338 1,370	2,121 2,328 2,496

Z przedstawionego zestawienia wynika, że naciski wywierane przez oponę na glebę w miejscu jej bezpośredniego kontaktu z podłożem są zbliżone do wartości ciśnienia napompowania opony powietrzem.

Można więc w pierwszym przybliżeniu przyjąć, że:

$$p_g = p_o \quad (4)$$

ogólną postać równania (4) można zapisać w postaci:

$$p_g = k p_o \quad (5)$$

gdzie: p_g – nacisk opony na glebę,

p_o – ciśnienie powietrza w oponie,

k – współczynnik zależny od rodzaju i stanu gleby.

Jak wynika z przeprowadzonych badań wstępnych w warunkach polowych, wartość tego współczynnika w zależności od rodzaju i stanu gleby może wahać się w granicach: $k = 1,0 \div 1,5$.

Przeprowadzone wstępne pomiary zmian ciśnienia w oponie pod wpływem zmian jej obciążenia wykazały wzrost ciśnienia wraz ze wzrostem obciążenia, co wydaje się zjawiskiem oczywistym.

Przeprowadzone pomiary tych zmian w warunkach polowych, wykazały bardzo istotny wpływ czynników atmosferycznych. Chodzi tutaj przede wszystkim o kompensację termiczną rejestrowanych wielkości, która na dzień dzisiejszy nie została jeszcze rozwiązana w dostatecznym zakresie.

Wzrost temperatury otoczenia powodował bardzo istotne zmiany wyników pomiarów. Zmiany te niejednokrotnie były większe od zmian spowodowanych zmiennymi warunkami badań czy też stanu gleby.

Podsumowanie

Zaproponowany model propagacji nacisków będzie poddany weryfikacji dla różnorodnych warunków glebowych i zmiennych parametrów badań, takich jak: obciążenie, ciśnienie powietrza w oponie dla różnych typów opon rolniczych. Osobnym zagadnieniem do rozwiązania jest wyznaczenie współczynnika k , będącego funkcją zmiennych parametrów badań, stanu i rodzaju gleby jak i typu i rodzaju badanych opon. Wyznaczenie tych wielkości będzie realizowane podczas prac badawczych prowadzonych w ramach międzynarodowej współpracy w FAL w Braunschweigu 2006 roku. Opracowanie nie zawiera szczegółowej weryfikacji modelu jak i dyskusji wyników badań, ponieważ przedstawia jedynie teoretyczny model matematyczny, który, jak już wspomniano, będzie dalej weryfikowany po przeprowadzeniu serii badań polowych. Zaproponowany model stanowi pierwszy krok na drodze do rozwiązania tego skomplikowanego zagadnienia.

Bibliografia

1. Jakliński L.: Modele oddziaływania koła pneumatycznego na glebę. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 175, Warszawa 1999.
2. Sommer C., Lebert M., Jakliński L., Jasiński B.: Bodenschadvrchtung-Strategien und Technike zum physikalischen Bodenschutz, Landtechnik, 2003, nr 2, s. 94–95.
3. Stasiak W.: Modele propagacji nacisków w glebie generowanych przez oponę. Rozprawa doktorska, Płock 2003.
4. Olsen H.J.: Calculation of subsoil stresses Soil & Tillage Research, 1994, vol. 29, s. 111–123.

Recenzent:

Ryszard MICHALSKI

Model of stress distribution with regard to plough pan

Summary

The paper presents the triphase mathematical model of stress distribution caused by a tire with regard to the pass of stresses through the plough pan. Moreover, it estimates the values of individual stresses in the soil-tire contact as the function of tire inflation pressure correlated due to the use of k coefficient.