

A NEW MACHINE FOR EXAMINATION OF PENETRATION FORCES ACTING ON THE SOIL PENETRATING MACHINE PARTS IN THE FIELD CONDITIONS

Summary

A new machine mounted on the agricultural tractor for measurement of soil penetration forces in vertical and horizontal direction, designed and manufactured by authors is described in this paper. Data obtained from measurements with the use of this machine can be used for optimization of the shape of implements working in the soil as well as for soil mechanical properties investigations.

MASZYNA DO BADANIA PRZEBIEGU OPORÓW PRACY NARZĘDZI PRACUJĄCYCH W GRUNCIE W WARUNKACH POLOWYCH

Streszczenie

W pracy opisano skonstruowaną i wykonaną w Politechnice Poznańskiej maszynę zawieszoną na ciągniku rolniczym, przeznaczoną do pomiaru oporów penetracji gruntu w kierunku poziomym i pionowym. Dane uzyskane z pomiarów mogą być wykorzystane do optymalizacji kształtu narzędzi pracujących w gruncie, weryfikacji modeli matematycznych opisujących pracę narzędzi pracujących w gruncie, a także do badania właściwości mechanicznych samego gruntu.

1. Wstęp

Prace dotyczące badania oporów roboczych narzędzi pracujących w gruncie, mają już wieloletnią tradycję, zapoczątkowaną w początkach ubiegłego stulecia przez m.in. Goriaczkiną [4]. Literatura dotycząca tego tematu obejmuje wiele pozycji. Prace te wykonywano zarówno wychodząc z punktu widzenia maszyn rolniczych, jak i innych maszyn pracujących w gruncie, w tym budowlanych [1, 5, 10]. Zagadnienie przebiegu sił i odkształceń gruntu podczas jego penetracji przez różne ukształtowane narzędzia nie jest jednak zadowalająco rozwiązane [3, 7, 8]. Istniejące bazy danych empirycznych czy nawet empirycznie wyznaczone formuły matematyczne, mają ograniczone zastosowanie praktyczne, gdyż istnieje praktycznie nieskończona różnorodność rodzajów i stanów fizycznych gleb i gruntów. Brak jest ogólnej teorii penetracji ośrodka gruntowego. Teorie rozwijane na bazie wzoru Goriaczkiną [4] są jedynie matematycznymi aproksymacjami danych empirycznych i nie mają waloru ogólności. Nowe nadzieje budzi na tym polu metoda elementów skończonych adaptowana już z powodzeniem do mechaniki gruntu oraz metoda elementów dyskretnych, której praktyczne aplikacje są dzisiaj warunkowane mocą obliczeniową komputerów. [6, 7, 9].

Dla rozwoju tych metod potrzebne są nowe dane empiryczne, pozyskiwane w znanych i stosownie do metody obliczeniowej zidentyfikowanych warunkach. Dane te można pozyskiwać na stanowiskach laboratoryjnych. W warunkach laboratoryjnych wykorzystuje się prasy laboratoryjne (maszyny wytrzymałościowe) lub kanały glebowe. Badania laboratoryjne są jednak bardzo kłopotliwe. Wykonanie odpowiednich próbek gruntu i odwzorowanie w laboratorium naturalnych warunków pracy zęba koparki czy spulchniacza rolniczego jest bardzo trudne, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. Z kolei, pomiar sił bezpośrednio na maszynie roboczej w trakcie jej pracy wymagałby znacznego przekonstruowania osprzętu roboczego pod kątem zaprogramowanych pomiarów, co

więzałoby się ze znacznymi kosztami. Penetrometry statyczne, stosowane do badania zwięzłości gruntów, nie zapewniają dostatecznych możliwości pomiarów oporów pracy różnie ukształtowanych narzędzi. A zatem, za celowe uznano opracowanie konstrukcji i zbudowanie przewoźnej prasy hydraulicznej o dwóch stopniach swobody, umożliwiającej zarówno zagłębienie zęba roboczego w grunt, jak i jego poziome przemieszczanie, co pozwala na realizowanie trajektorii ruchu zębów zbliżonych do tych, które są spotykane w trakcie normalnej pracy maszyn. Ta cecha odróżnia zbudowane stanowisko od klasycznych penetrometrów statycznych stosowanych do sondowania gruntu, które zapewniają tylko jeden stopień swobody.

2. Budowa stanowiska

Rama główna maszyny została wykonana z rur o profilu kwadratowym o wymiarach 80x80x4. Rama ta jest zawieszana na ciągniku rolniczym poprzez standardowy trójpunktowy układ zawieszenia narzędzi. Aby uniknąć unoszenia maszyny w czasie przeprowadzania próby układ zawieszenia został zablokowany za pomocą specjalnej belki uniemożliwiającej ruch jego cięgien w stosunku do korpusu ciągnika. Belka ta jest oparta o dolny hak zaczepowy, przystosowany do przenoszenia znacznych sił pionowych. Wykorzystanie ciągnika rolniczego do przenoszenia stanowiska pozwala na łatwe jego dostarczenie do miejsca pomiarów oraz obciążenie pionowe w czasie pracy. Pozioma część ramy spełnia rolę prowadnicy, po której porusza się kolumna z zamontowanymi siłownikami hydraulicznymi i badanym narzędziem (zębem roboczym). Zagłębienie zęba odbywa się za pomocą siłownika hydraulicznego zamontowanego w górnej części kolumny, a ruch w kierunku poziomym jest wymuszony przez drugi siłownik hydrauliczny zamocowany pomiędzy końcem łoża a ruchomą kolumną.

Oba siłowniki są zasilane z obwodu hydrauliki zewnętrznej ciągnika (pompa hydrauliczna ciągnika). Sterowanie ruchem siłowników odbywa się poprzez

dwusekcyjny rozdzielacz trójpołożeniowy. Pionowy suwak prasy hydraulicznej jest zaopatrzony na swoim końcu w płytę mocującą, do której za pomocą czterech śrub mocuje się, poprzez głowicę pomiarową, badany ząb. W obecnej wersji kontrola prędkości ruchu narzędzia może być dokonywana jedynie poprzez zmianę wydajności pompy zasilającej obwody hydrauliki zewnętrznej ciągnika. Nowoczesne ciągniki są wyposażane już w zawory proporcjonalne pozwalające na regulację strumienia oleju dostarczanego do danego obwodu zewnętrznego. Przewidywane jest jednak zastąpienie zwykłego rozdzielacza trójpołożeniowego układem zaworów proporcjonalnych sterowanych elektronicznie, co pozwoli na precyzyjną kontrolę składowych prędkości ruchu narzędzia roboczego. Uzyskiwane maksymalne siły są limitowane jedynie wymiarami siłowników oraz masą ciągnika stanowiącego dociążenie maszyny. W przypadku zastosowania lekkiego ciągnika mogą być one zwiększone poprzez dodanie balastu. W obecnej wersji urządzenia można uzyskać siły do wartości 10kN, a przemieszczenia pionowe do wartości 300 mm.

Konstrukcję stanowiska zamodelowano i dokumentację wykonawczą opracowano za pomocą programu Solid Edge v 12.

3. Budowa i działanie systemu do pomiaru sił i przemieszczenia narzędzia

W przypadku pomiaru tylko jednej składowej oporu: zagłębiania pionowego, stosowany jest siłomierz tensometryczny firmy HBM, zamocowany za pomocą specjalnych złączy gwintowych o zakresie pomiarowym 20 kN. Oprócz tego skonstruowano i wykonano specjalny siłomierz tensometryczny pozwalający mierzyć zarówno poziomą, jak i pionową składową oporu zagłębiania. Z pewnym błędem opory te można mierzyć również poprzez pomiar ciśnienia oleju w siłownikach, jednak z opcji tej zrezygnowano, gdyż występuje tu trudna do zmierzenia siła tarcia w siłownikach i prowadnicach maszyny. Do pomiaru przemieszczenia klina wykorzystano przetwornik indukcyjny o zakresie pomiarowym 100 mm firmy HBM, klasy 0,1. Ruchomy rdzeń tego przetwornika zaopatrzono w stopkę w kształcie prostokątnej płytki o wymiarach 30x30mm, która w trakcie pomiaru opiera się o grunt. Korpus przetwornika jest związany z suwakiem pionowym prasy, stąd przetwornik mierzy położenie tego suwaka względem powierzchni gruntu. Punkt zamocowania przetwornika drogi przesunięto o ok. 100 mm w stosunku do osi klina, aby odkształcenia powierzchni gruntu w okolicy klina nie wpływały na wynik pomiaru.

Przetworniki te są obsługiwane przez cyfrowy system pomiarowy Spider 8 firmy HBM połączony z komputerem przenośnym za pośrednictwem łącza RS232.

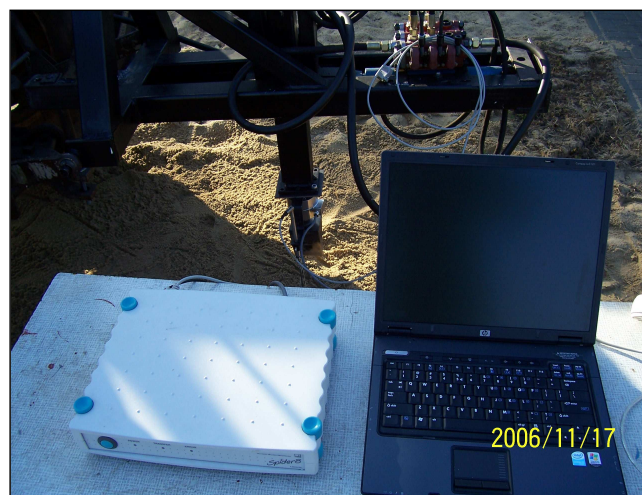
Spider 8 jest w pełni cyfrowym, ośmiokanałowym wzmacniaczem pomiarowym, który służy do pomiarów statycznych i dynamicznych z wykorzystaniem czujników potencjometrycznych, tensometrycznych i indukcyjnych. Wzmacniacz jest sterowany komputerowo, tzn. nie posiada żadnych elementów regulacyjnych.

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko w pełni już oprzyrządowane i przygotowane do wykonywania prób penetracji.



Rys. 1. Stanowisko w pełni oprzyrządowane i przygotowane do wykonywania prób penetracji

Fig. 1. The working stand fully equipped and prepared for penetration tests



Rys. 2. Wzmacniacz pomiarowy z komputerem

Fig. 2. Measurement amplifier with computer

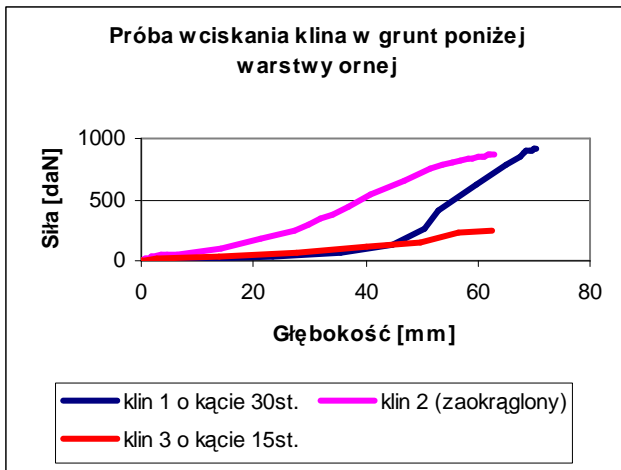
Do akwizycji danych pomiarowych i sterowania przebiegiem pomiarów napisano specjalny program w języku Delphi 8, pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Windows XP na platformie .NET1.

Do obsługi i transmisji danych poprzez port szeregowy wykorzystano procedury biblioteczne zamieszczone w pracy [2].

Program wykonuje następujące funkcje:

- Programuje kanały pomiarowe systemu Spider 8, tj. przekazuje do systemu pomiarowego kody sterujące częstotliwością próbkowania, wzmocnieniem kanału pomiarowego, ustawienia filtra dolnoprzepustowego i tarowaniem przetworników pomiarowych.
- Inicjuje sekwencję pomiarową, która potem jest wykonywana automatycznie przez system pomiarowy.
- Odczytuje i rozkodowuje wyniki pomiarów zgromadzone w pamięci buforowej systemu Spider 8.

- Przeskalowuje względne wartości mierzonych wielkości (siły, przemieszczenia) na wielkości fizyczne, przez pomnożenie ich przez współczynniki skalujące.
- Przedstawia na ekranie monitora w formie wykresu przebieg sił w funkcji drogi klina.
- Realizuje procedurę empirycznego wyznaczania współczynników skalujących dla poszczególnych kanałów pomiarowych.
- Realizuje procedurę tarowania kanałów pomiarowych.



Rys. 3. Przebieg siły oporu penetracji w funkcji głębokości penetracji

Fig. 3. Course of penetration resistance force in penetration depth function



Rys. 4. Kliny stosowane w badaniach

Fig. 4. Wedges used in testing

Program jest sterowany za pomocą kilku przycisków i jego obsługa warunkach polowych nie nastręcza żadnych trudności. Wyniki pomiarów są zapisywane w plikach tekstowych zaopatrzonych w nagłówek identyfikujący dane pomiarowe, wpisywane do komputera przed każdym pomiarem. Mogą one być dalej przetwarzane za pomocą wszelkich dostępnych programów do opracowywania

danych liczbowych, takich jak arkusze kalkulacyjne, programy statystyczne (Statistica) i inne programy (w tym własne).

Przykładowy przebieg sił zarejestrowanych w trakcie przeprowadzonych pomiarów w formie wykresu utworzonego za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel przedstawiono na rys. 3.

W badaniach tych używano klinów roboczych o różnych kątach zaostrenia oraz o ostrzu zaokrąglonym (rys. 4).

4. Podsumowanie

1. Zbudowane i przetestowane urządzenie badawcze do badań oporów penetracji narzędzi w gruntach zostało sprawdzone w warunkach terenowych. Potwierdzono poprawność konstrukcji tego urządzenia i jego przydatność do badań oporu powstającego przy penetracji gruntu przez zęby maszyny roboczej.
2. Urządzenie zostanie wykorzystane w dalszych badaniach do zbierania danych empirycznych oraz weryfikacji modeli matematycznych penetracji gruntu przez organy robocze maszyn rolniczych i budowlanych.
3. Po adaptacji, zbudowane urządzenie może znaleźć zastosowanie w tzw. rolnictwie precyzyjnym do badania zwięzłości gruntu i pobierania próbek w celu sporządzania map glebowych.

5. Literatura

- [1] Brach I.: Teoretyczne podstawy skrawania gruntów w maszynach do robót ziemnych. Arkady, Warszawa, 1960
- [2] Daniluk A.: RS232 praktyczne programowanie Helion, 2001
- [3] Glazer Z.: Mechanika gruntów, Wydawnictwa geologiczne, Warszawa 1985
- [4] Goriaczkin W. P.: Dzieła Zebrane. „Sielchozgis”, Moskwa, 1937
- [5] Kuczewski J.: A multiparametric model for predicting the draught of two model plow bodies in four different soils. Soil and tillage research 1982, nr 2.
- [6] van der Berg P.: Analysis of soil penetration. Praca doktorska Delft university of Technology 1994
- [7] Pisarczyk S.: Mechanika gruntów, Wydawnictwo PW 2005
- [8] Pytka J., Konstankiewicz K.: Metody wyznaczania naprężeń i przemieszczeń w glebie pod obciążeniem, Acta Arophisica Nr 14, Lublin 1998
- [9] Sikora Z.: Sondowanie statyczne – metody i zastosowanie w geoinżynierii, Wydawnictwo WN-T, Warszawa 2006
- [10] Wietrow J. A.: Riezenie gruntów ziemirolnymi maszynami Maszinstojenije, Moskwa, 1971.