

*Jan Jurga*  
*Instytut Inżynierii Rolniczej*  
*Akademia Rolnicza w Szczecinie*

## **URZĄDZENIE DO POMIARU ZWIĘZŁOŚCI I NAPRĘŻENIA GRANICZNEGO ORAZ DO POBIERANIA PRÓB GLEBY O NIENARUSZONEJ STRUKTURZE**

### **Streszczenie**

W Instytucie Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Szczecinie zaprojektowano i wykonano urządzenie do badania zwięzłości i naprężenia granicznego oraz do pobierania prób gleby o nienaruszonej strukturze. Urządzenie jest wstępnie zaprogramowane i nie wymaga specjalistycznej obsługi podczas wykonywania pomiarów. W celu ograniczenia kosztów wykonania, nie posiada ono własnego źródła napędu i jest zawieszane na trójpunktowym układzie zawieszenia ciągnika. Ciągnik umożliwia transport urządzenia po polu oraz zasila wszystkie jego zespoły z własnego układu elektrycznego oraz z układu hydrauliki zewnętrznej.

**Słowa kluczowe:** fizyczne właściwości gleby, zwięzłość, naprężenie graniczne, gleba o nienaruszonej strukturze, rolnictwo precyzyjne, DGPS

### **Wprowadzenie**

Oznaczanie fizycznych właściwości gleby jest bardzo pracochłonne, gdyż ze względu na znaczny rozrzut wyników, często występuje konieczność wykonania dużej ilości powtórzeń. Niektóre z właściwości, jak np. gęstość objętościowa i porowatość, są oznaczane na podstawie próbek gleby o nienaruszonej strukturze [Powałka, Buliński 2003]. Uzyskanie dokładnych i wiarygodnych wyników zależy w dużym stopniu od jakości procesu pobierania próbek. Próbkę pobierane są ręcznie do cylinderków, a ich jakość zależy głównie od wprawy badacza, zastosowanej metody utrzymywania prostoliniowego ruchu cylinderków przy ich napełnianiu oraz techniki wyjmowania cylinderków napełnionych glebą.

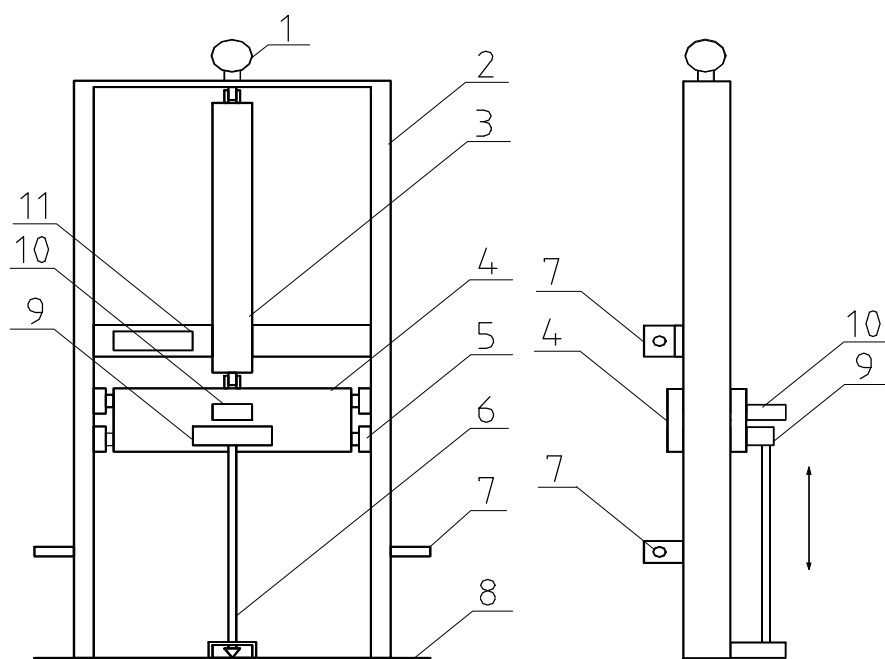
Niektóre badania dotyczące fizycznych właściwości gleby są wykonywane bezpośrednio na polu. Należą do nich m.in. zwięzłość i naprężenie graniczne. Istnieją liczne rozwiązania przyrządów do pomiaru wspomnianych wielkości [Dawidowski, Śnieg 1997, Dobek, Prošek, Šařec, 1999, Młynkowiak, Dawidowski, Śnieg, Błażejczak 2000, Śnieg, Dawidowski, Młynkowiak, Błażejczak 1999]. Są one przenośne i dlatego posiadają małą masę, która ogranicza możliwość ich zastosowanie w przypadku dużego oporu stawianego przez glebę podczas pomiaru. Opór gleby jest niekiedy tak duży, że nawet dociążanie przyrządu masą ciała operatorów nie jest wystarczające i w konsekwencji ruch sondy powoduje unoszenie ramy przyrządu ponad powierzchnię gleby. Zjawisko to zakłóca stałą prędkość posuwu sondy a w niektórych przyrządach także pomiar głębokości zagłębienia sondy w glebę.

W celu zwiększenia wydajności i dokładności, oraz zmniejszenia pracochłonności pomiarów zwięzłości, naprężenia granicznego i właściwości fizycznych określanych na podstawie próbek gleby o nienaruszonej strukturze, w Instytucie Inżynierii Rolniczej w Szczecinie podjęto budowę wieloczynnościowego urządzenia pomiarowego zawieszanego na

ciągniku. Ze względu na coraz częstsze wykorzystywanie wyników badań właściwości fizycznych gleby na potrzeby rolnictwa precyzyjnego, już na etapie projektowania założono, że urządzenie zostanie wyposażone w odbiornik DGPS, służący do określania współrzędnych miejsca pomiaru. Aby do minimum skrócić czas wykonywania niezbędnych obliczeń, urządzenie wyposażono także w komputer z oprogramowaniem umożliwiającym obróbkę danych uzyskanych podczas badań.

### Opis budowy i zasady działania urządzenia

Schemat urządzenia pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Elementem nośnym jest prostokątna rama, przystosowana do łączenia z trójpunktowym układem zawieszenia ciągnika. Pionowe belki ramy wykonane są z ceownika i spełniają rolę prowadnic dla ruchomego wózka roboczego. W dolnej części ramy umieszczona jest podstawa, która podczas wykonywania badań służy do podpierania urządzenia o powierzchnię gleby i stanowi jednocześnie bazę przy pomiarze głębokości sondy. Do górnej poprzeczki ramy przytwierdzony jest cylinder siłownika hydraulicznego dwustronnego działania. Siłownik ten



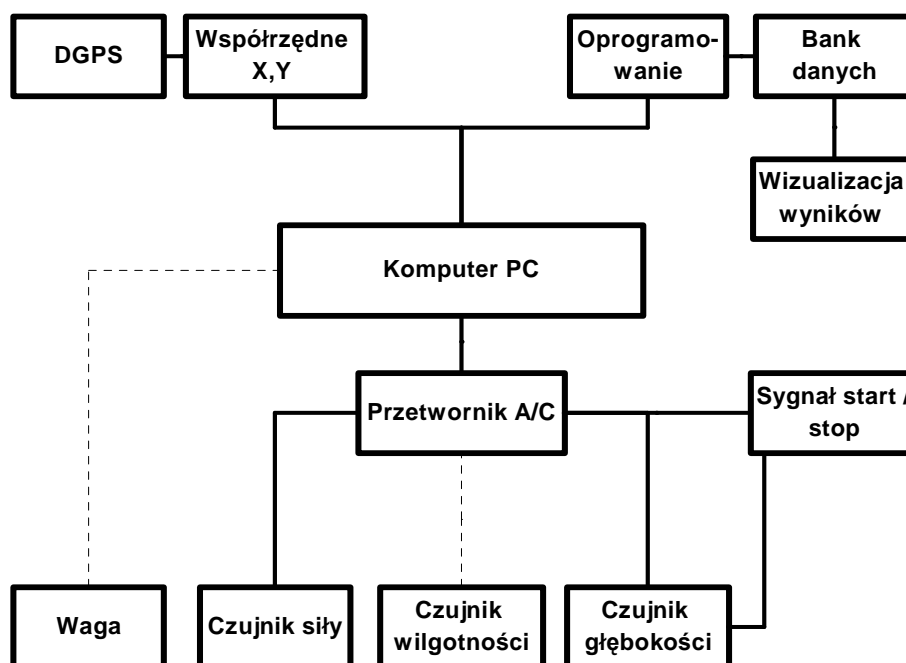
Rys.1. Schemat urządzenia pomiarowego: 1 - odbiornik DGPS, 2 – rama, 3 - siłownik hydrauliczny, 4 - wózek roboczy, 5 - rolki prowadzące, 6 - sonda pomiarowa (alternatywnie pomiar zwięzłości, naprężenia granicznego, wilgotności objętościowej lub adapter do pobierania próbek gleby o nienaruszonej strukturze), 7 - elementy do agregowania z ciągnikiem, 8 - podstawa (stopa) ramy, 9 - czujnik siły, 10 - czujnik zagłębienia sondy w glebie, 11 - mikrokomputer i wyposażenie elektroniczne.

Fig.1. The scheme of the measuring device: 1 - DGPS receiver, 2 – Frame, 3 - Hydraulic servo-motor, 4 - Working trolley, 5 - Guide rollers, 6 – Measuring probe (alternatively the measurement of soil firmness, measurement of precompaction stress, measurement of moisture or adapter to the taking soil samples of intact structure), 7 - Elements to aggregating with tractor, 8 - Frame basis (foot), 9 - Sensor of forces, 10 - Sensor of depth, 11 - Microcomputer and electronic equipment.

jest zasilany przez układ hydrauliki zewnętrznej ciągnika. W celu zachowania stałej prędkości ruchu tłoczyska, w obwodzie hydraulicznym zastosowano regulator natężenia przepływu. Tłoczysko siłownika połączone jest z wózkiem roboczym wyposażonym w cztery rolki prowadzące. Podczas ruchu wymuszanego przez siłownik, wózek przesuwany jest po pionowych belkach wzdłuż osi prostopadłej do powierzchni gruntu. Do wózka roboczego przymocowane są czujniki pomiarowe. Czujnik pomiarowy siły jest przetwornikiem tensometrycznym i do niego przymocowana jest w dolnej części sonda pomiarowa. W zależności od badanej właściwości gleby, sonda pomiarowa uzbrajana jest w odpowiednią końcówkę. Do mierzenia zwięzłości stosowany jest stożek. Przy badaniu naprężenia granicznego elementem wywierającym nacisk na glebę jest cylindryczny, płaski stempel. Opcjonalnie urządzenie może zostać wyposażone w czujnik do pomiaru wilgotności gleby oraz w wagę. W razie potrzeby pobierania próbek gleby o nienaruszonej strukturze, na wózek zakładany jest adapter pozwalający na szybką wymianę cylinderków. Alternatywnie można stosować cylinderki o średnicy 50 lub 100 mm. Podczas pobierania prób gleby, do obsługi urządzenia potrzebna jest dodatkowa osoba. Na środku górnej poprzeczki ramy zainstalowany jest odbiornik DGPS, przeznaczony do lokalizacji urządzenia w terenie.

W celu wykonania pomiaru, urządzenie jest opuszczane przez podnośnik hydrauliczny ciągnika w dół, aż do oparcia jego podstawy o powierzchnię gleby. W tym położeniu wykonywany jest pomiar zwięzłości, naprężenia granicznego lub pobranie próby gleby. Olej tłoczony przez układ hydrauliki zewnętrznej ciągnika powoduje wysuwanie tłoczyska z siłownika i przesuwanie wózka roboczego wraz z sondą w dół. W chwili rozpoczęcia tego ruchu, dolna część sondy znajduje się nad glebą. Po zetknięciu sondy z glebą, następuje automatyczne uruchomienie układu rejestracji wyników. Jednocześnie z rozpoczęciem akwizycji danych pomiarowych, następuje lokalizacja urządzenia badawczego metodą DGPS. W Polsce, na terenie Pomorza Zachodniego, do zwiększania dokładności określania pozycji może być wykorzystywany sygnał różnicowy nadawany przez nadmorskie stacje referencyjne. Podczas wykonywania badań wstępnych, niedokładność pomiaru współrzędnych płaskich X i Y wynosiła mniej niż 1 metr. Odchyłkę tę określono na podstawie porównania współrzędnych uzyskanych przez DGPS ze współrzędnymi państwowej osnowy geodezyjnej. W zależności od zastosowanego wyposażenia sondy, zmianie ulega skok roboczy siłownika. Jest on sterowany przy wykorzystaniu czujnika umieszczonego na wózku roboczym, który służy jednocześnie do pomiaru głębokości zagłębienia sondy pomiarowej w glebie. Czujniki pomiarowe połączone są z mikrokomputerem spełniającym funkcje sterujące i rejestrujące (rys.2).

Dane pomiarowe są przesyłane do mikrokomputera w stałych odstępach czasu próbkowania. W zależności od badanej właściwości, czas próbkowania można zmieniać w zakresie od 1 ms do 1s. Dane są przesyłane do komputera w seriach, w których występują wyniki dotyczące czasu pomiaru, lokalizacji DGPS, głębokości sondy, oraz siły oporu stawianej przez glebę. Po całkowitym zagłębieniu sondy pomiarowej w glebę, następuje automatyczne przerwanie transmisji danych i wysterowanie ruchu powrotnego sondy w górę. Następnie całe urządzenie podnoszone jest przez podnośnik hydrauliczny i może zostać przetransportowane do kolejnego punktu pomiarowego. Po zakończeniu serii pomiarów następuje obróbka danych w programie *GLEBA*, wykonanym na potrzeby przedstawionego urządzenia pomiarowego. Ponieważ urządzenie umożliwia badanie gleby na głębokość do 60 centymetrów, wyniki pomiarów mogą zostać posortowane do przedziałów głębokości dowolnie ustalonych przez operatora. Na podstawie uzyskanych danych, program umożliwia także wizualizację wyników dotyczących zmienności właściwości gleby na badanym areale. Opracowane wyniki mogą stanowić bazę danych przy eksploatacji agregatów rolniczych, względnie materiał do dalszego opracowania naukowego.



Rys. 2. Schemat blokowy układu rejestracji i przetwarzania wyników pomiarów.

Fig. 2. Block scheme of the system of registering and processing of measurement results

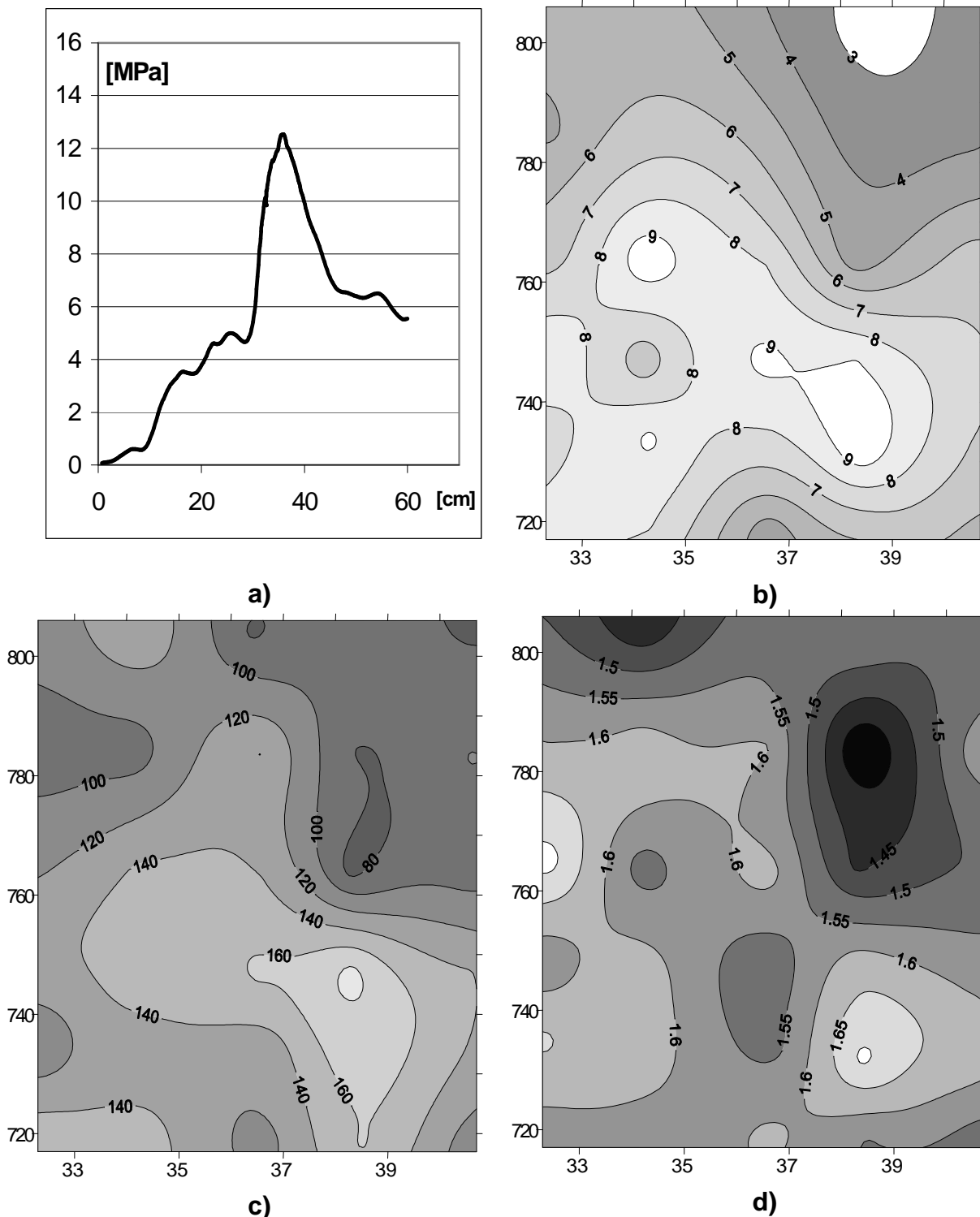
Przy pobieraniu próbek gleby o nienaruszonej strukturze, nie jest potrzebny pomiar siły a czujnik głębokości wykorzystywany jest do regulacji skoku sondy. Dzięki wadze włączonej w system pomiarowy, próby gleby mogą zostać zważone natychmiast po ich pobraniu. Dalsza obróbka prób glebowych odbywa się w laboratorium i może dotyczyć np. oznaczania wartości gęstości objętościowej, porowatości, wilgotności, przepuszczalności wodnej i powietrznej. W celu dalszej obróbki danych uzyskanych w badaniach laboratoryjnych, należy wprowadzić je ręcznie do programu *GLEBA*.

### Przykład zastosowania urządzenia w badaniach polowych

W celu określenia poprawności działania wykonanego urządzenia, przeprowadzono pilotażowe badania polowe, podczas których oznaczano:

- zwięzłość gleby w przedziale głębokości 0-60 cm,
- naprężenie graniczne w przypowierzchniowej warstwie gleby,
- gęstość objętościową gleby na trzech głębokościach (0-10; 10-20; 20-30 cm)

Badania wykonano na piasku gliniastym. Wyniki wybranych oznaczeń przedstawiono na rysunku 3. Pomiar zwięzłości oraz naprężenia granicznego przeprowadzono przy prędkości przesuwu sondy pomiarowej wynoszącej  $25 \text{ mm s}^{-1}$ . Do pomiaru zwięzłości zastosowano standardowy stożek o średnicy podstawy  $0,5''$ , zaś do pomiaru naprężenia granicznego użyto stempla o średnicy 50 mm. W celu wyznaczenia gęstości objętościowej, do cylindrów o objętości  $100 \text{ cm}^3$  pobrano próbki gleby o nienaruszonej strukturze. Natychmiast po pobraniu, próbki zostały zważone a wyniki wprowadzone do programu obsługującego urządzenie. Dalszą obróbkę prób gleby, tj. suszenie i oznaczanie masy gleby suchej wykonano w laboratorium.



Rys. 3. Przykłady zastosowania urządzenia do badania wybranych właściwości fizycznych piasku gliniastego: a) - średnia zwięzłość gleby w profilu 0÷60 cm, b) - rozkład zwięzłości gleby w warstwie 25÷35 cm [MPa], c) - rozkład naprężenia granicznego na powierzchni gleby [kPa], d) rozkład gęstości objętościowej gleby w warstwie 10÷20 cm [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]

Fig. 3. Examples of use of the device to investigation of chosen physical proprieties of clay sand: a) - the average of soil firmness in profile 0 – 60 cm, b) - the distribution of soil firmness in layer 25-35 cm [MPa], c) - the distribution of precompaction stress on soil surface [kPa], d) - the distribution of bulk density of in layer 10 – 20 cm [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

## Podsumowanie

Pomiary przeprowadzone przy użyciu skonstruowanego urządzenia wykazały poprawność jego działania oraz spełnienie założeń projektowych. Na areale o powierzchni 0,7 ha wykonano w ciągu 4 godzin po 30 oznaczeń zwięzłości i naprężenia granicznego oraz pobrano 90 prób gleby o nienaruszonej strukturze. Oszacowana nierównomierność prędkości sondy pomiarowej wyniosła 2%, zaś błąd pomiaru wartości siły 0,5%. Natychmiast po zakończeniu pomiarów wyniki dotyczące zwięzłości oraz naprężenia granicznego gleby były gotowe do prezentacji w formie tabelarycznej oraz graficznej. Analogiczny efekt uzyskano po zakończeniu obróbki laboratoryjnej pobranych prób glebowych i ręcznym wprowadzeniu uzyskanych wyników do programu *Gleba*.

## Bibliografia

1. Dawidowski B., Śnieg M. 1997. Wyznaczanie naprężeń granicznych gleby w kontekście oceny jej podatności na ugniatanie mechanizmami jezdnych agregatów rolniczych, Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, nr 1 (vol. 42), 12-14, Poznań.
2. Dobek T., Prošek V., Šařec O., 1999. Budowa i działanie elektronicznego penetrometru In-Po współpracującego z komputerem. Inżynieria Rolnicza, 5: 223-228.
3. Młynkowiak W., Dawidowski J.B., Śnieg M., Błażejczak D. 2000. Wpływ wybranych sposobów ugniatania gliny średniej na poziom jej zagęszczenia. Inżynieria Rolnicza, 6, 193-197.
4. Powałka M., Buliński J. 2003. Metody pomiaru parametrów gleby w warunkach polowych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. 10, 14-16.
5. Śnieg M., Dawidowski B., Młynkowiak W., Błażejczak D. 1999. Wpływ prędkości zadawania obciążenia na wartość naprężenia granicznego, Inżynieria Rolnicza, 5: 243-247.

## A DEVICE TO INVESTIGATE SOIL FIRMNESS, PRECOMPACTION STRESS AND FOR SAMPLING SOIL OF UNDISTURBED STRUCTURE

### Summary

At the Institute of Agricultural Engineering Szczecin/Poland a device for analysis of some soil properties were designed and manufactured. The installation is pre-programmed and needs no specialised service during measurements. To limit the cost of production it does not possess its own drive and is assembled to the three-point suspension system of a tractor. The tractor allows the device to be transported and supplies all elements with power from its own electric system and also from the external hydraulics.

**Key words:** physical soil properties, compaction, precompaction stress, soil sampling, precision agriculture, DGPS.